

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LUANA CARVALHO LUIZ
JEAN MARCELL LARA TYBUSZEUSKY**

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX SIGMA* EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

LUANA CARVALHO LUIZ
JEAN MARCELL LARA TYBUSZEUSKY



**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX*
SIGMA EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA NA REGIÃO DOS CAMPOS
GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profa. Dra. Daiane Maria de Genaro Chirolí.

PONTA GROSSA

2019

	<p style="text-align: center;">Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS PONTA GROSSA Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	 <p style="text-align: center;">UTFPR <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small></p>
---	--	---

TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS.

Por

Luana Carvalho Luiz
Jean Marcell Lara Tybuszeusky

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 13 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr.^a Daiane Maria de Genaro Chioli
Prof. Orientador

Prof. Dr.^a Louisi Francis Moura
Membro titular

Prof. Dr.^a Joseane Pontes
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queremos agradecer a Deus por ter nos dado a oportunidade de estudar na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por ter zelado pela nossa saúde, para que pudéssemos enfrentar todos os desafios que nos foram impostos durante a graduação.

Eu, Luana Carvalho Luiz, agradeço aos meus pais, Evandro Marcos Luiz e Adriana de Carvalho, e à minha irmã, Larissa Elika Carvalho Luiz, pelo total apoio e dedicação durante a minha jornada acadêmica. Também faço um agradecimento em especial para o meu eu namorado Jean Henrique Ferreira pela paciência e por estar sempre ao meu lado compartilhando das minhas aflições e inseguranças.

Eu, Jean Marcell Lara Tybuszeusky, agradeço à minha família e meus amigos por todo o apoio prestado durante esta jornada. Agradeço especialmente aos meus pais, Marcelo Luiz Tybuszeusky e Anamara Lara Tybuszeusky, e ao meu irmão, Michael Lara Tybuszeusky, por todo o suporte que me foi dado durante a graduação e por serem sempre o meu porto seguro.

Agradecemos a todos os professores que compartilharam conosco seu conhecimento e experiências de vida. Obrigado pelos conselhos e puxões de orelha, sempre prezando pelo nosso crescimento pessoal e profissional. Agradecemos em especial à Prof^a Dr. Daiane Maria de Genaro Chiroli por sua orientação e apoio em cada decisão tomada.

Agradecemos ao Sr Otto, dono da empresa Forward Química, por permitir que o trabalho fosse desenvolvido em sua organização. Agradecemos também ao Guilherme, Mari, Homero, e Ludy por serem tão prestativos compartilhando seus conhecimentos, experiências e nos ajudarem a compreender melhor o funcionamento do processo produtivo, o que foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

LUIZ, Luana Carvalho; TYBUSZEUSKY, Jean Marcell Lara. **Proposta de implementação da metodologia *Lean Six Sigma* em uma indústria química na região dos Campos Gerais.** 2019. 95f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Diante das mudanças ocorridas no ambiente industrial e do aumento da competitividade entre as empresas, houve a busca por melhorias nos modelos de gestão utilizados para a produção dos produtos. Dentre as metodologias utilizadas, destaca-se o *Lean Six Sigma*, que tem sido implementado em diferentes ambientes fabris, apresentando como finalidade a redução da variabilidade e eliminação dos defeitos, que, por consequência, gera resultados positivos em relação à satisfação dos clientes e aumento na produtividade, além do incremento na receita. Diante deste contexto, o presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo da implementação da metodologia *Lean Six Sigma* em uma indústria do setor químico, sendo caracterizado como um estudo de caso. Para isso, faz-se uso da metodologia DMAIC, incorporando ferramentas da qualidade e do *Six Sigma* para identificar e propor melhorias em partes do processo produtivo que apresentam falhas. A superprodução foi o tipo de desperdício estudado pelo trabalho no contexto organizacional, e, no período de dois meses de análise, esta totalizou 285,16 Kg de produto acabado, o que correspondeu a R\$ 905,75 em termos financeiros. Desta maneira, o custo anual das sobras é equivalente a R\$ 5.434,50. As soluções levantadas para o problema foram organizadas com o auxílio da ferramenta 5W2H e estão relacionadas principalmente à correta mensuração dos insumos de produção e água utilizados no processo.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing. Six Sigma. Lean Six Sigma. DMAIC. Indústria química. Desperdício. Superprodução.*

ABSTRACT

LUIZ, Luana Carvalho, TYBUSZEUSKY, Jean Marcell Lara. **Proposal of a Lean Six Sigma Methodology implementation in a Chemical Industry in the region of Campos Gerais.** 2019. 95 p. Course Conclusion Work (Graduation in Production Engineering) – Federal University of Technology – Paraná. 2019.

In the face of changes occurred in the industrial environment and the increase in competitiveness among companies, there has been a search for improvements in the management models used for products production. Among the methodologies used, Lean Six Sigma stands out. It is implemented in different factory environments, aiming variability reduction and defects elimination, which consequently create positive results in relation to customer satisfaction and productivity increase, besides revenue increase. Before this context, the present work aims conducting a study on the implementation of the Lean Six Sigma methodology in an industry of the chemical sector, thus, being characterized as a case study. To this end, the DMAIC methodology had been employed, incorporating quality and Six Sigma tools to identify and propose improvements in those parts of the productive process that had shown failures. Overproduction was the kind of wastage studied by this work on the organizational context, and it totaled 285,16 kg of finished product within 2 months of analysis, which corresponds to R\$ 905,75 in financial terms. Therefore the annual cost of the leftovers is equivalent to R\$ 5.434,50. The solutions provided for the problem were organized with the support of the 5W2H tool and they are mostly related to the correct measuring of the production supplies and water used in the process.

Keywords: *Lean Manufacturing. Six Sigma. Lean Six Sigma. DMAIC. Chemical industry. Waste. Overproduction.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da metodologia <i>Six Sigma</i>	20
Figura 2 - Processo com nível de qualidade <i>Six Sigma</i>	23
Figura 3 - Comparação entre o padrão atual e a <i>performance</i>	23
Figura 4 - Escala Sigma	30
Figura 5 - Vasos comunicantes	31
Figura 6 - Gráfico de Pareto para os tipos de defeitos de lentes.....	32
Figura 7 - Diagrama de Ishikawa.....	33
Figura 8 - Exemplo de histograma	34
Figura 9 - Folha de verificação para a classificação de defeitos	35
Figura 10 - Diagramas de dispersão	37
Figura 11 - Exemplo de gráfico de controle.....	38
Figura 12 - Exemplo de estratificação para o número de acidentes.....	39
Figura 13 - Matriz GUT.....	40
Figura 14 - Modelo de um project charter	41
Figura 15 - Exemplo de SIPOC	42
Figura 16 - Objetivos do <i>Lean</i> e do <i>Six Sigma</i>	43
Figura 17 - Levantamento do referencial teórico	50
Figura 18 - Definição da metodologia do trabalho.....	51
Figura 19 - Procedimento de coleta de dados.....	52
Figura 20 - Procedimento de análise e interpretação dos dados	53
Figura 21 - Processo produtivo da indústria química	56
Figura 22 - SIPOC do processo	58
Figura 23 - Utilização das linhas de produção	65
Figura 24 - Sobras de produção.....	66
Figura 25 - Histograma gerado para a Linha 1	68
Figura 26 - Histograma gerado para a Linha Brute	69
Figura 27 - Diagrama de Ishikawa.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Preenchimento da matriz GUT	61
Tabela 2 - Síntese de dados coletados	64
Tabela 3 - Sobras: frequência relativa.....	67
Tabela 4 - Análise dos custos da sobra	71
Tabela 5 - Custo das sobras por utilização das linhas de produção	72
Tabela 6 - Nível Sigma atual	73

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

5W2H	<i>What</i> (O que), <i>Why</i> (Por que), <i>Where</i> (Onde), <i>When</i> (Quando), <i>Who</i> (Quem), <i>How</i> (Como), <i>How much</i> (Quanto)
CEO	<i>Chief Executive Officer</i> – Diretor Executivo
CTQ	<i>Critical to quality</i> – Crítica para a qualidade
DMAIC	<i>Define</i> (Definir), <i>Measure</i> (Medir), <i>Analyze</i> (Analisar), <i>Improve</i> (Melhorar), <i>Control</i> (Controlar)
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
DPO	Defeitos por oportunidade
DPU	Defeitos por unidade
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> – Análise de Modo e Efeito de Falha
LIC	Limite inferior de controle
LIE	Limite inferior de especificação
LM	Linha média
LSC	Limite superior de controle
LSE	Limite superior de especificação
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
SIPOC	<i>Supplier</i> (Fornecedor), <i>Inputs</i> (Entradas), <i>Process</i> (Processo), <i>Output</i> (Saídas), <i>Customers</i> (Clientes)
VOC	<i>Voice Of Customer</i> – Voz do Cliente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.3 OBJETIVO GERAL	12
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE	14
2.2 <i>LEAN MANUFACTURING</i>	16
2.2.1 Breve História sobre o <i>Lean Manufacturing</i>	17
2.2.2 Definição do <i>Lean Manufacturing</i>	18
2.2.3 Desperdícios	18
2.3 <i>SIX SIGMA</i>	19
2.3.1 Breve História sobre o <i>Six Sigma</i>	20
2.3.2 Definição do <i>Six Sigma</i>	21
2.3.3 Metodologia DMAIC	24
2.3.3.1 Fase 1: definir (<i>define</i>)	24
2.3.3.2 Fase 2: medir (<i>measure</i>).....	25
2.3.3.3 Fase 3: analisar (<i>analyze</i>).....	25
2.3.3.4 Fase 4: melhorar (<i>improve</i>).....	26
2.3.3.5 Fase 5: controlar (<i>control</i>)	26
2.3.4 Métricas do <i>Six Sigma</i>	27
2.3.4.1 Índice de capacidade do processo.....	27
2.3.4.2 Métricas baseadas em defeituosos.....	28
2.3.4.3 Métricas baseadas em defeitos.....	28
2.3.4.4 Escala sigma.....	29
2.4 PRINCÍPIO DOS VASOS COMUNICANTES.....	30
2.5 FERRAMENTAS	31
2.5.1 Ferramentas Básicas da Qualidade.....	31
2.5.1.1 Gráfico de Pareto	32
2.5.1.2 Diagrama de Ishikawa.....	33
2.5.1.3 Histograma.....	34
2.5.1.4 Folha de verificação	35
2.5.1.5 Diagrama de dispersão	36
2.5.1.6 Cartas de controle.....	37
2.5.1.7 Estratificação.....	38
2.5.1.8 Matriz GUT	39

2.5.2 Ferramentas do <i>Six Sigma</i>	40
2.5.2.1 Project charter	40
2.5.2.2 Mapeamento de processos	41
2.6 <i>LEAN SIX SIGMA</i> (LSS)	43
2.7 TRABALHOS CORRELATOS	45
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	46
3 METODOLOGIA	48
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	48
3.2 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA DE DADOS	49
3.3 PLANEJAMENTO DA METODOLOGIA	49
3.4 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS	52
3.5 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 FASE DEFINIR	55
4.1.1 Validação da etapa definir	62
4.2 FASE MEDIR	62
4.2.1 Coleta de dados relacionados ao fator financeiro	63
4.2.2 Coleta dos dados relacionados a sobras	63
4.3 FASE ANALISAR	64
4.3.1 Análise da utilização das linhas de produção	65
4.3.2 Análise dos aspectos financeiros	70
4.3.3 Nível Sigma do processo atual	72
4.3.4 Diagrama de Ishikawa	74
4.3.5 Ferramenta 5W2H	76
4.4 CONSIDERAÇÕES EM RELAÇÃO AOS RESULTADOS	79
5 CONCLUSÃO	81
5.1 CONTRIBUIÇÕES	81
5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS	83
5.3 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	84
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A - Folha de Verificação	91

1 INTRODUÇÃO

A crescente competitividade entre as organizações fez com que a procura por inovação em modelos de gestão se intensificasse, pois com novos modelos de gestão, ocorre a otimização do desempenho de processos produtivos e eliminação de desperdícios. O objetivo de melhorar o processo produtivo está diretamente ligado a oferecer aos clientes um produto ou serviço de qualidade, de acordo com o que foi especificado. Contudo, a qualidade não é definida apenas como a entrega de um produto conforme, mas sim como um conjunto de práticas adotadas pela organização.

A utilização da tecnologia voltada às técnicas de produção se torna uma grande aliada no aumento da competitividade, pois engloba conhecimento técnico e prático (*know-how*) aos meios de produção, garantindo a melhoria das características do produto e do processo, e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade. Metodologias associadas à melhoria contínua têm sido incorporadas aos processos das organizações, visando a integração de todos os seus setores e colaboradores, além de poder contar com um processo mais eficiente. Neste cenário, uma das metodologias que se relacionam com estes princípios é o *Lean Six Sigma*.

O *Lean Six Sigma* é a combinação da filosofia *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*, que abordam conceitos distintos, porém complementares. O *Lean Manufacturing* tem por objetivo reduzir o esforço humano, estoques, tempo de entrega e espaço de produção para atender a demanda do mercado. Já o *Six Sigma* é focado em reduzir a variabilidade do processo, aumentar a satisfação do cliente e a lucratividade da empresa. Esta metodologia faz uso de ferramentas estatísticas e de um método estruturado para a resolução de problemas (STAASTSA; BRUNNERB; UPTON, 2011, WERKEMA, 2012).

Os benefícios obtidos por meio da integração do *Lean Six Sigma*, envolvem redução de desperdícios, níveis de estoque entre as estações de trabalho e variabilidade de processos. Há, também, a contribuição para melhoria nos processos do negócio, eliminação do tempo de retrabalho e aumento da produtividade e flexibilidade do sistema (BENDELL; 2006, CHEN; LI; SHADY, 2010).

Em diversos estudos foram apresentados os ganhos trazidos pela implementação da metodologia *Lean Six Sigma*, dos quais podemos destacar o de

Moura et al. (2017), que teve por objetivo reduzir o desperdício e o retrabalho na fabricação de laminadores em uma indústria siderúrgica, apresentando resultados superiores a 35% de redução de desperdícios, além da estabilização do processo. Outro estudo feito em uma empresa especializada em construção, obteve ganhos positivos em relação a taxa de reparo de solda, diminuindo os desperdícios em mais de 25%, o que se traduziu em uma economia de US\$ 90.000 para esta empresa (ANDERSON; KOVACH, 2014).

O trabalho de Walter e Paladini (2018) analisou 104 artigos relacionados à utilização da metodologia *Lean Six Sigma* no contexto da indústria brasileira, e seus resultados demonstram que 79,6% dos trabalhos com esta temática foram aplicados em indústrias de grande porte, e apenas 3,1% relatam aplicação em indústrias de pequeno porte.

Diante do cenário onde as empresas buscam por tecnologias para melhorar seu processo, se situa a indústria química brasileira, que está mais voltada ao mercado interno e apresenta a necessidade de agregar valor aos seus produtos, pois a matéria-prima utilizada é cara e as indústrias podem apresentar altos custos de produção, o que inviabiliza a competição no mercado externo (MOREIRA; ARBACHE, 2016).

Em 2017 a indústria química brasileira exportou cerca de US\$ 13,6 bilhões e importou US\$ 36,8 bilhões, apresentando déficit na balança comercial. Neste mesmo ano, a indústria química representou 2,4% do PIB total brasileiro, contando com US\$ 7,6 bi de faturamento líquido relacionado a produtos de limpeza e afins, sendo este o segmento no qual atua a empresa objeto de estudo do trabalho (ABIQUIM, 2017).

Desta maneira, o presente trabalho apresenta uma proposta de melhorias de um processo produtivo em uma indústria do setor químico, utilizando a metodologia *Lean Six Sigma*. Neste trabalho parte da metodologia DMAIC foi desenvolvida, que correspondem as fases definir, medir e analisar, em cada fase foram incorporados os princípios do *Lean Manufacturing*, afim de obter a integração entre as duas filosofias.

1.1 PROBLEMA

Quais os benefícios que a implementação do *Lean Six Sigma* pode trazer para a uma indústria de produtos químicos de pequeno porte situada na região dos Campos Gerais no estado do Paraná?

1.2 JUSTIFICATIVA

A melhoria da eficácia e da eficiência dos processos empresariais têm grande influência na competitividade das empresas, uma vez que visam realizar as operações da melhor maneira possível, evitando desperdícios de recursos e buscando produzir exatamente o que foi solicitado pelos clientes (DOMINGUES, 2013).

Um dos desafios enfrentados pela indústria química, objeto de estudo do trabalho, diz respeito a atender aos clientes com urgência, uma vez que alguns clientes industriais requisitam os produtos quando seu estoque está acabando, entretanto, tais produtos são necessários para a continuidade de seu processo produtivo, o que pode ocasionar sérios transtornos na ocorrência da falta do produto.

Desta maneira, para atender ao cliente que solicita o produto com urgência, a indústria química precisa acelerar seu processo de atendimento ao cliente, modificando o planejamento da produção. Apesar disso, algumas vezes não é possível atendê-lo, pois o prazo solicitado pelo cliente é curto e não compatível com o tempo de processamento da indústria química, ou o estoque de matéria-prima não é suficiente para assumir o pedido. Além disso, é de conhecimento dos responsáveis pela produção que o processo possui perdas, sendo necessário identificar onde elas ocorrem e encontrar maneiras de atuar sobre esta situação.

Em relação à relevância do trabalho para a pesquisa acadêmica, o trabalho de Raval, Kant e Shankar (2018) analisou 190 artigos que continham o termo *Lean Six Sigma* presente no título, sendo que a finalidade de tal estudo era realizar um levantamento bibliográfico dos trabalhos que foram publicados entre os meses de janeiro de 2000 e setembro de 2016 envolvendo a temática. Tal trabalho foi realizado levando em consideração 6 diferentes bases de dados. Dentre os trabalhos analisados por Raval, Kant e Shankar (2018), apenas três deles possuíam

a aplicação do *Lean Six Sigma* voltada para a área química, sendo todos os três trabalhos voltados à implementação de ferramentas do LSS em um laboratório. Neste sentido, percebe-se também a relevância acadêmica deste trabalho, uma vez que a temática não é tão recorrente em indústrias químicas.

Portanto, este trabalho se justifica por, através da utilização da metodologia *Lean Six Sigma*, mapear o processo produtivo e identificar as falhas existentes, buscando atuar sobre estas falhas e manter o foco nas atividades que agregam valor ao produto. Com isto, espera-se a melhoria do desempenho da organização, aumentando a eficiência de seus processos.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo geral propor melhorias no processo produtivo de uma indústria do setor de fabricação de produtos químicos, utilizando-se da metodologia *Lean Six Sigma*.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o mapeamento do processo da indústria;
- Identificar na empresa as características críticas da qualidade para o processo produtivo;
- Coletar dados referentes ao processo;
- Analisar os dados coletados;
- Propor melhorias para o processo analisado.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho é um estudo de caso em uma indústria química de pequeno porte localizada na região dos Campos Gerais, no estado do Paraná, e visa propor melhorias em seu processo produtivo por meio da metodologia *Lean Six Sigma*.

Através da utilização de ferramentas e da metodologia relacionadas ao *Lean Manufacturing* e ao *Six Sigma*, são identificadas operações e atividades que podem

receber modificações e melhorias. A partir disso, são levantadas as maneiras pelas quais podem ocorrer as melhorias, apresentando estas ideias aos responsáveis pela produção. O trabalho se desenvolveu entre os anos de 2018 e 2019, no período de agosto a fevereiro. Entre os meses de agosto e outubro de 2018 realizou-se o mapeamento do processo produtivo, ocorrendo posteriormente a coleta de dados entre os meses de novembro de 2018 e fevereiro de 2019.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado em 5 capítulos, sendo que o primeiro apresentou a introdução, justificativa, objetivo geral, objetivos específicos e a delimitação do tema, no que tange à implementação do *Lean Six Sigma* em uma indústria química.

O segundo capítulo consiste no levantamento do referencial teórico, onde aborda a evolução da qualidade, o conceito de *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, as ferramentas básicas da qualidade, ferramentas do *Six Sigma*, a metodologia integrada *Lean Six Sigma*, trabalhos correlatos e considerações finais sobre o capítulo.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia do trabalho, que abrange a classificação da pesquisa, descrição do ambiente da coleta de dados, planejamento da metodologia, procedimento da coleta de dados e análise e interpretação dos dados.

A execução das etapas definidas na metodologia deste trabalho é encontrada no capítulo quatro, no qual está apresentado o desenvolvimento das ferramentas utilizadas por este trabalho. Já a conclusão se faz presente no capítulo cinco.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as definições, ferramentas e metodologias em torno do tema *Lean Six Sigma* e gerenciamento da qualidade, que conduzirão a resolução de um problema presente na organização objeto de estudo, bem como a implementação de melhorias.

2.1 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE

Nos mais diversos setores e tipos de organização há a presença da competição, seja por recursos, por clientes ou por fundos de negócios. Para vencer seus concorrentes, as organizações têm utilizado a qualidade, melhorando o desempenho em confiabilidade e preço, ganhando clientes e obtendo vantagens em fundos de negócios (OAKLAND, 1994).

Entretanto, qualidade é um conceito que possui diversas definições, sendo que este termo tem evoluído com o passar do tempo. Especialistas que estudaram sobre o tema viam a questão da qualidade por diferentes perspectivas, sendo atribuídas diversas definições ao termo qualidade (CHIROLI, 2016, AQUILANI et al., 2017). Alguns dos mestres da qualidade, também chamados de gurus, e suas perspectivas sobre o tema podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Gurus da qualidade e visões acerca do termo

Autor	Ano da obra	Visão sobre a qualidade
Walter Andrew Shewhart	1924	A qualidade é subjetiva e objetiva ao mesmo tempo, podendo ser utilizada a análise estatística para este fim.
William Edwards Deming	1986	Satisfazer as necessidades dos clientes com foco na redução da incerteza e da variabilidade do processo.
Joseph Moses Juran	1986	Qualidade é a adequação ao uso, que depende das características do produto ou serviço ofertado.
Philip Bayard Crosby	1979	Qualidade é a conformidade com as especificações através da ausência de defeitos.
Kaoru Ishikawa	1985	A qualidade é satisfazer ao cliente, sendo responsabilidade de todos dentro da organização, mas que envolve também os fornecedores e o cliente final, ou seja, a qualidade não está apenas no interior da organização.

Continua

Autor	Ano da obra	Visão sobre qualidade
Genichi Taguchi	1986	Qualidade é fazer produtos robustos, o que consiste em reduzir variações nos componentes do produto e do processo desde o seu projeto.
Armand Feigenbaum	1983	Qualidade é aquilo que o cliente diz que é, bem como responsabilidade de diversos departamentos dentro de uma organização (Controle da Qualidade Total).

Fonte: Adaptado de Carvalho e Paladini (2012), Zairi (2013) e Aquilani et al. (2017)

A qualidade pode ser entendida, em termos gerais, como o atendimento das exigências e necessidades do cliente, trazendo consigo a ideia de confiabilidade, que diz respeito à capacidade do produto ou serviço ofertado atender continuamente aos requisitos do cliente (OAKLAND, 1994).

Além da evolução no conceito da qualidade, houve também mudança na abordagem do tema, inclusive, através do enfoque dado a essa questão, foram definidas as quatro eras da qualidade: inspeção, controle estatístico, garantia da qualidade e gestão estratégica (MARSHALL JUNIOR et al., 2008).

Na era da inspeção da qualidade, o objetivo central era garantir que os produtos não apresentassem falha na entrega, evitando reclamações dos clientes. Para isso, o principal método utilizado dizia respeito a inspecionar o produto final e eliminar aqueles que apresentassem defeitos, substituindo por outros, sendo esta atividade incorporada como uma operação final pertencente ao processo produtivo (WECKENMANN; AKKASOGLU; WERNER, 2015).

Esse processo de inspeção funcionou para um volume baixo de produção, pois, com a produção em massa, a quantidade de produtos produzidos aumentou, e com ela a quantidade de inspeções necessárias. A necessidade de realizar cada vez mais inspeções e a frequente substituição de produtos defeituosos por produtos bons, fizeram os custos aumentarem, e esse controle feito somente no final do processo passou a ser visto como desperdício, pois todas as etapas de produção deveriam ser executadas para que o defeito fosse identificado, desperdiçando tempo (WECKENMANN; AKKASOGLU; WERNER, 2015; CHIROLI, 2016).

Com isso, o foco da qualidade deixou de ser apenas o produto e passou a incorporar o processo produtivo, inserindo técnicas estatísticas que possibilitaram identificar mudanças ocorridas durante a produção dos produtos, o que caracterizou a era do controle estatístico da qualidade (MARSHALL JUNIOR et al., 2008).

A ideia central do controle estatístico é atuar na variabilidade do processo, considerando que esta variabilidade está presente em qualquer processo de produção e pode indicar a ocorrência de problemas. Para distinguir quando a variabilidade apresentada possui um nível aceitável e quando ela indica um problema, foram estabelecidos os gráficos de controle, que contêm limites de variação para o processo e permitem o monitoramento deste através da extração de amostras dos produtos produzidos (YONG; WILKINSON, 2002).

Entretanto, a inspeção e o controle estatístico controlavam a qualidade dos produtos e processos apenas de maneira posterior, desta forma, a partir de meados de 1960, a qualidade passou a considerar não somente a saída do processo, mas também a entrada deste, buscando garantir a qualidade através da identificação de riscos e problemas potenciais, impedindo que aconteçam (WECKENMANN; AKKASOGLU; WERNER, 2015).

Nesta era da garantia da qualidade há o entendimento de que todas as pessoas interessadas nas atividades da organização participem da melhoria da qualidade, abordando desde a fase de desenvolvimento do produto, envolvendo todos os níveis hierárquicos, bem como os clientes e fornecedores (MARSHALL JUNIOR et al., 2008).

A quarta era da qualidade, que diz respeito à gestão estratégica, visa melhorar a competitividade e eficácia em toda a organização, abordando a questão da qualidade desde o nível da gerência e difundindo que todos os funcionários devem ter compromisso em estabelecer a alta qualidade (OAKLAND, 1994; WECKENMANN; AKKASOGLU; WERNER, 2015).

Na próxima seção será abordado o tema *Lean Manufacturing*, importante conceito relativo à produção dos produtos e fundamental para o desenvolvimento do presente trabalho.

2.2 LEAN MANUFACTURING

O *Lean Manufacturing* pode ser entendido como um conjunto de ferramentas, técnicas e princípios que visam implementar melhorias no processo produtivo, influenciando a produtividade e a qualidade. Seu principal objetivo é a eliminação dos desperdícios presentes no processo, excluindo atividades que

consomem tempo e recursos mas que não agregam valor ao produto ou processo, trazendo ganhos em eficiência (GUPTA; JAIN, 2013, BHAMU; SANGWAN, 2014).

Breve histórico sobre o *Lean Manufacturing*, bem como os conceitos abrangidos por tal filosofia e as ferramentas que podem ser utilizadas para identificar potenciais melhorias, serão apresentados nas seções a seguir.

2.2.1 Breve História sobre o *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing*, surgiu na *Toyota Motor Company* na década de 1950, e por este motivo também é conhecido como sistema Toyota de produção. Os executivos desta empresa japonesa do ramo automobilístico, sentiram a necessidade de se diferenciar do sistema de produção em massa, amplamente difundido na época e associado aos Estados Unidos da América (OHNO, 1997, WERKEMA, 2012).

A principal ideia era conseguir produzir diferentes modelos de veículos em pequenas quantidades, o que não era compatível com a ideia de produção americana, que visava fabricar grande quantidade de veículos a baixos custos, mantendo pouca variedade de modelos (OHNO, 1997).

Com base nisso, Taiichi Ohno, executivo da Toyota, voltou esforços para a identificação e eliminação dos desperdícios. Tais desperdícios estão presentes de diversas maneiras na área de produção de bens, entretanto, a eliminação destes possibilita maior qualidade nos produtos, mais eficiência e economia (FULLMANN, 2009; WERKEMA, 2012).

Sendo assim, surgiu o pensamento de produzir somente aquilo que é necessário e no momento necessário, evitando os desperdícios no ambiente produtivo. A ideia principal é estabelecer um fluxo contínuo, evitando o surgimento de estoques e a movimentação desnecessária de materiais, buscando atender àquilo que o cliente solicitou sem que haja perdas (OAKLAND, 1994).

Pelo fato de utilizar menores quantidades de recursos, o sistema Toyota de produção recebeu a denominação de *Lean Manufacturing*, termo entendido como produção enxuta, pois se utiliza da metade do esforço dos operários, menos espaço para fabricação e menos estoques, quando comparado ao sistema de produção em massa (WOMACK; JONES; ROOS, 1992).

2.2.2 Definição do *Lean Manufacturing*

A essência do *Lean Manufacturing*, portanto, é atuar na eliminação total dos desperdícios, sendo que para isso são fundamentais o entendimento de dois conceitos: *Just in time* e automação (OHNO, 1997).

O *just in time* diz respeito à ideia de produzir os produtos, montá-los e adquirir materiais para fabricação somente na quantidade e no momento apropriado, sempre evitando deixar materiais ou produtos parados desnecessariamente. Outro termo relacionado à ideia do *just in time* é “produção sem estoque” (SCHONBERGER, 1993).

Para Oakland (1994), o *just in time* requer a redução do tamanho do lote a ser produzido, o que facilita a detecção de produtos defeituosos, evidenciando os problemas presentes e melhorando a qualidade do produto. Além disso, o *just in time* proporciona uma força de trabalho mais flexível e redução nos custos (OAKLAND, 1994).

Já a automação deve ser entendida como a capacidade de uma máquina em conseguir detectar uma situação anormal de produção e impedir que produtos defeituosos sejam produzidos. Isso pode ser realizado através da instalação de dispositivos que sejam capazes de identificar tais situações anormais de produção, interrompendo-a quando necessário (OHNO, 1997).

A automação elimina a necessidade de trabalhadores que somente supervisionam as máquinas enquanto operam, sendo necessária a atenção humana apenas quando ocorrer alguma situação anormal. Tal condição também permite que um trabalhador possa atender a um número maior de máquinas, reduzindo o número de trabalhadores necessários para a execução de todo o trabalho (SHINGO, 1996; OHNO, 1997).

2.2.3 Desperdícios

Para compreender o conceito de desperdício, é necessário que se compreenda quais são as atividades que agregam valor ao produto final e quais as que simplesmente aumentam os custos. Em sua essência, um desperdício

corresponde a toda atividade que se realiza durante a produção, mas que o cliente não está disposto a pagar por ela (SHINGO, 1996, FULLMANN, 2009).

Os desperdícios foram identificados inicialmente por Ohno e se referem ao ambiente fabril, sendo oito no total (DOUGLAS; ANTONY; DOUGLAS, 2015). Os tipos de desperdícios podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 - Os oito tipos de desperdício

Desperdício	Descrição
1. Produção exagerada	Produzir além da demanda ou mais do que a necessidade. Fazer antes que seja requerido pelo processo seguinte.
2. Esperas	Esperar a execução da operação anterior para poder trabalhar no produto.
3. Inventário	O excesso de inventário diz respeito ao estoque intermediário dos produtos sendo processados.
4. Superprocessamento	Realizar atividades que não adicionam valor para o cliente.
5. Transporte	Movimentação desnecessária de materiais.
6. Movimentação excessiva	Pessoas que andam ou equipamentos que se movem mais do que o necessário para realizar determinada atividade.
7. Defeitos	Diz respeito a todo trabalho executado na identificação e correção de defeitos, sendo melhor prevenir tal situação.
8. Subutilização das pessoas	Não utilizar todas as habilidades das pessoas/funcionários.

Fonte: Adaptado de Fullmann (2009) e Douglas, Antony, Douglas (2015).

De fundamental importância para a aplicação do *Lean Manufacturing*, compreender os tipos de desperdícios é essencial, entretanto, a identificação destes nem sempre é óbvia, pois com certa frequência eles se apresentam disfarçados de trabalho útil, sendo necessário realizar uma análise crítica sobre a situação atual encontrada (SHINGO, 1996).

A próxima seção apresenta outra metodologia relacionada a melhoria contínua, que visa a redução da variabilidade dos processos produtivos, sendo esta o *Six Sigma*.

2.3 SIX SIGMA

O *Six Sigma* é uma metodologia que compreende as necessidades dos clientes através de dados, fatos, análises estatísticas e gerenciamento, sendo capaz de melhorar e reinventar os processos de negócios (MARSHALL JUNIOR et al., 2012). O presente capítulo irá apresentar um breve histórico sobre o tema,

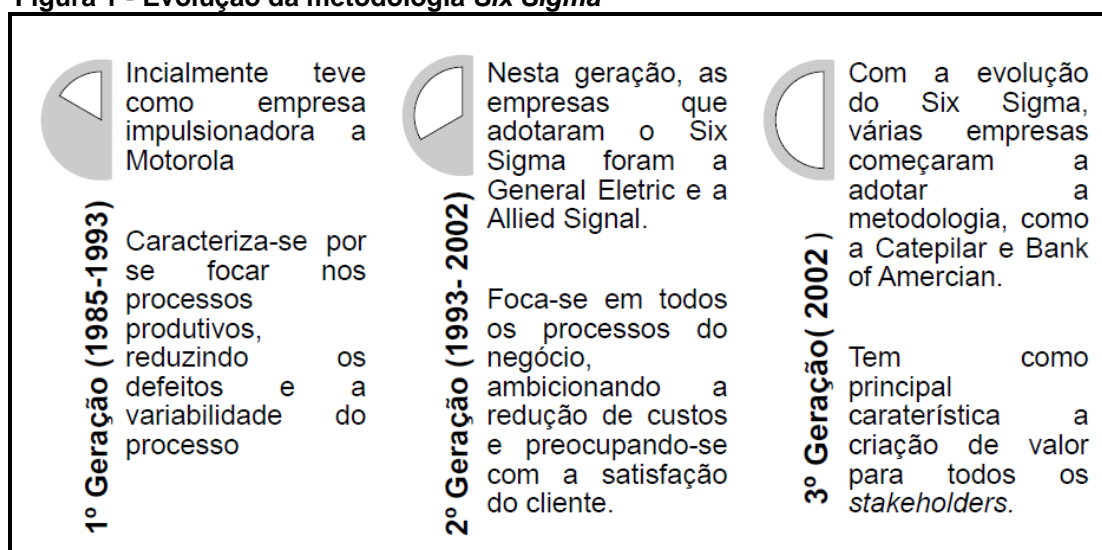
definições, a metodologia DMAIC e as métricas utilizadas pela metodologia *Six Sigma*.

2.3.1 Breve História sobre o *Six Sigma*

Em 1986 o engenheiro da Motorola, Bill Smith, desenvolveu o programa *Six Sigma* com a finalidade de melhorar a qualidade e reduzir os defeitos em seus produtos. Bob Galvin, CEO da Motorola na época, impressionou-se com os primeiros resultados do programa e passou a aplicar o *Six Sigma* em toda a organização, mantendo o foco em processos e nos sistemas de fabricação (MONTGOMERY; WODALL, 2008).

Desde sua origem, o *Six Sigma* apresentou três gerações, que iniciaram em 1985 e continuam até os dias atuais. A primeira geração (1985-1993) concentrou-se na redução de defeitos e da variabilidade do processo, já a geração seguinte (1993-2002) preocupou-se em introduzir novos conceitos relacionados a redução de custos e satisfação dos clientes. Por fim, na terceira geração, incorporou-se o conceito de criação de valor para todos os *stakeholders* (MONTGOMERY, 2009; LAGUNA; MARKLUND, 2013). A Figura 1, apresenta a evolução da metodologia ao longo dos anos, bem como suas características e a empresa impulsionadora.

Figura 1 - Evolução da metodologia *Six Sigma*



Fonte: Adaptado de Quintaneiro (2014)

As empresas mencionadas na Figura 1 obtiveram ganhos significativos após a implementação da metodologia *Six Sigma*. Entre 1987 e 1993, a Motorola foi

capaz de reduzir os defeitos em seus produtos em torno de 103%, além de obter um ganho de 2,2 bilhões de dólares, por meio da implantação do *Six Sigma* (MONTGOMERY, 2009; DROHOMERETSKI et al., 2014).

Já a *General Electric*, primeiramente investiu em treinamento para a consolidação da metodologia *Six Sigma*, e em 1999 obteve ganhos na receita operacional em 1,5 bilhão de dólares. Desde o início da implementação do *Six Sigma* em 1994 até maio de 1998, a empresa *Allied Signal* obteve ganhos de 1,2 bilhões de dólares (WERKEMA, 2012).

A *Caterpillar* mudou sua maneira de fazer negócio através do gerenciamento da qualidade, eliminando os desperdícios, reduzindo os custos e criando novos produtos e serviços; além de contar com uma equipe de liderança comprometida com a metodologia *Six Sigma* (MONTGOMERY, 2009).

Em 2003, o *Bank of America* conseguiu melhorar o relacionamento com o cliente, reduzir despesas e tempo de ciclo em várias áreas da empresa, além de reduzir pela metade os erros de processamento. Através dos exemplos citados neste capítulo, conclui-se que a metodologia *Six Sigma*, auxilia as organizações a conhecerem seus processos, para obtenção de um desempenho superior (MONTGOMERY, 2009).

2.3.2 Definição do *Six Sigma*

O *Six Sigma* é definido como uma estratégia gerencial disciplinada de cunho quantitativo, focada em aumentar a *performance* e a lucratividade da empresa. Isso ocorre através da melhoria da qualidade dos processos e produtos, havendo incremento na satisfação do cliente (WERKEMA, 2012).

Segundo Pyzdek e Keller (2010), o *Six Sigma* está relacionado a uma implementação rigorosa e altamente efetiva, baseada em princípios e técnicas de gestão da qualidade, visando atingir um desempenho empresarial livre de erros.

Segundo Marshall Junior (2006), os principais benefícios que uma organização pode obter através da aplicação do *Six Sigma* são:

- Redução no número de defeitos, falhas e erros;
- Redução na variabilidade dos processos;
- Melhoria dos produtos;

- Redução do tempo de ciclo;
- Otimização do estoque;
- Obtenção de custos mais baixos;
- Melhoria da qualidade;
- Satisfação dos clientes;
- Aumento da lucratividade.

O *Six Sigma* opera praticamente em um ambiente livre de defeitos, permitindo somente 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, o que significa que os produtos e serviços são praticamente perfeitos, apresentando 99,9997% de operação conforme as especificações. Com a eliminação dos defeitos, elimina-se também as insatisfações (BRUE, 2005; RAISINGHANI et al., 2005).

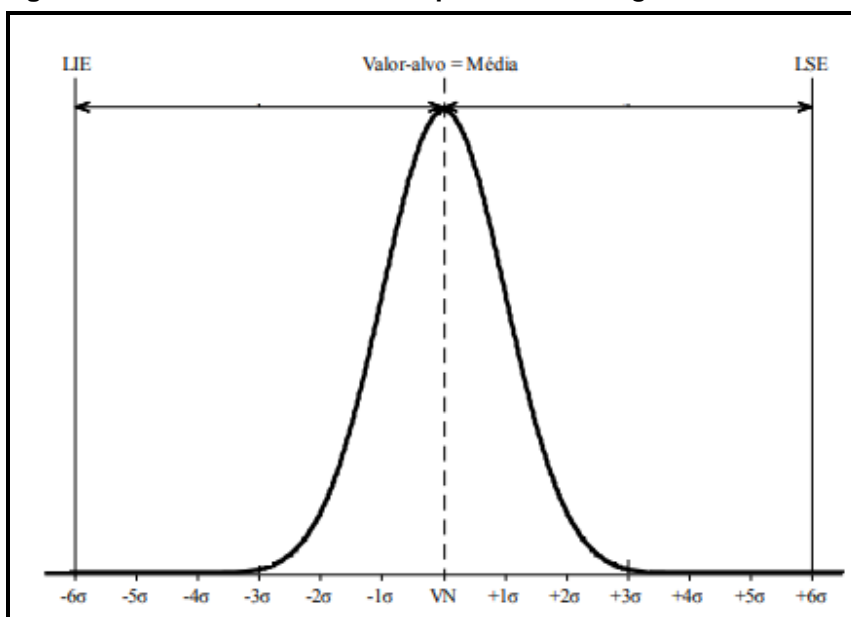
Para que ocorra a eliminação dos defeitos, faz-se necessário definir as características críticas para a qualidade (CTQ's), que estão relacionadas aos produtos ou serviços, pois através destas é possível estabelecer os processos que necessitam de melhorias. Estas características afetam a percepção do cliente referente a qualidade do produto (MARQUES, 2013).

O *Six Sigma*, é capaz de identificar e quantificar os desperdícios, apontando passos para a melhoria destes. Estatisticamente o termo Sigma (σ) é definido como desvio padrão, sendo utilizado para medir a variabilidade de um processo (BRUE, 2005; ABRANTES, 2009).

De acordo com Carpinetti (2012), um processo que atua com o nível de qualidade *Six Sigma*, é aquele que opera na faixa de tolerância especificada correspondente à 6 desvios padrão (6σ) entre a média do processo, e o limite superior e inferior de especificação, conforme apresenta a Figura 2.

Como pode ser observado, a Figura 2 representa um processo *Six Sigma*, com a média centrada no valor alvo, apresentando também o limite inferior de especificação (LIE) e limite superior de especificação (LSE), que correspondem a valores externos ao processo, definidos pela gerência, clientes, projetistas ou engenheiros (MONTGOMERY, 2013).

Figura 2 - Processo com nível de qualidade *Six Sigma*



Fonte: Adaptado de Marques (2013)

Adotando um processo *Six Sigma*, o número de produtos não conformes e a variabilidade são reduzidos, logo, há uma significativa melhora no desempenho do processo (LAGUNA; MARKLUND, 2013). A Figura 3, apresenta uma comparação entre processos que utilizam 4σ e que utilizam 6σ .

Figura 3 - Comparação entre o padrão atual e a *performance*

Padrão atual 4σ		Performance 6σ
Sete horas por mês de falta de energia elétrica	→	Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos
5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana	→	1,7 operações cirúrgicas incorretas por semana
3.000 cartas extraviadas a cada 300.000 cartas postadas	→	1 carta extraviada a cada 30.000 postadas
15 minutos de fornecimento de água não potável por dia	→	1 minuto de água não potável a cada 7 meses

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

Como mostra a Figura 3, o desempenho de um processo que utiliza Quatro Sigma (99,83% de conformidade) é pior em relação a um processo que utiliza *Six Sigma* (99,99966%), o que leva a concluir que através da implementação desta metodologia, as empresas podem obter ganhos significativos.

2.3.3 Metodologia DMAIC

O *Six Sigma* é conduzido pela metodologia DMAIC, que consiste em cinco fases: Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*), dando origem a sigla DMAIC. O modelo DMAIC tem como objetivo aperfeiçoar as pessoas e os processos para obter melhoria no desempenho e nos resultados (MARTINELLI, 2009; WHEELER, 2010).

O DMAIC é um método sistemático e disciplinado, que se baseia em dados e no uso de ferramentas estatísticas, sendo que em cada fase do DMAIC são utilizadas diversas ferramentas que ajudam a organização a alcançar os resultados desejados (CARVALHO; PALADINI, 2012).

2.3.3.1 Fase 1: definir (*define*)

A fase 1, que corresponde a letra D da sigla DMAIC e significa definir, aponta qual projeto *Six Sigma* será realizado, ou seja, define qual será o objeto de estudo, o problema e o efeito indesejável que se pretende eliminar do processo analisado (CARPINETTI, 2012). De acordo com Werkema (2012), define-se também a meta a ser atingida, o impacto econômico do projeto e a maneira pela qual os clientes, ou consumidores, são afetados pelo problema.

O primeiro passo na metodologia *Six Sigma* para resolver qualquer problema é a determinação de uma equipe responsável pelo projeto, sendo tal equipe encarregada de desenvolver um *project charter* contendo todas as informações pertinentes ao projeto. O *project charter* apresenta informações quanto ao objetivo do projeto, a duração, recursos disponíveis, funções e responsabilidades dos membros da equipe, escopo e limitações, resultados esperados, entre outros (GIJO; SCARIA; ANTONY, 2011).

Para a fase inicial do DMAIC faz-se uso de algumas ferramentas como: *project charter*, mapeamento do processo, voz do cliente (VOC), entre outras (WERKEMA, 2012).

2.3.3.2 Fase 2: medir (*measure*)

Martinelli (2009), afirma que esta é uma fase fundamental para se determinar indicadores de desempenho. A equipe responsável pelo projeto irá desenhar o processo e os subprocessos que se relacionam com as características críticas para qualidade (CTQ's), definindo as entradas e saídas do mesmo (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Após isso, a equipe coleta dados do processo através de um sistema que produz amostras representativas e aleatórias, tomando cuidado para que o sistema de medição tome medidas adequadas às necessidades do projeto (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Segundo Werkema (2012), as ferramentas utilizadas nesta etapa são: diagrama de Pareto, histograma, folha de verificação, cartas de controle, entre outras.

2.3.3.3 Fase 3: analisar (*analyze*)

O objetivo da fase de análise é identificar as causas fundamentais do problema tomando como base os dados coletados na fase anterior (medir), e se houver necessidade, realizar novas coletas de dados (CARPINETTI, 2012).

Segundo Marshall Junior et al. (2012), deve-se identificar as fontes de atrasos, desperdícios e a falta de qualidade dentro do processo, além de verificar os padrões a serem seguidos na fase seguinte.

Algumas ferramentas que podem ser utilizadas nesta fase são: diagrama de Ishikawa, gráfico de dispersão e histograma (WERKEMA, 2012).

2.3.3.4 Fase 4: melhorar (*improve*)

Werkema (2012) afirma que o primeiro passo relacionado a esta fase é a geração de ideias. Tais ideias correspondem a potenciais soluções que podem eliminar as causas fundamentais do problema. Ainda nesta fase é que ocorrem as mudanças necessárias no processo, visando atender os objetivos determinados na fase 1, que é a fase definir (MARTINELLI, 2009).

É importante que não se modifiquem todas as atividades do processo-alvo, sendo necessário realizar um teste em um processo-piloto, que tem o objetivo de evitar a ocorrência de qualquer desperdício, caso as propostas de mudança não atinjam os objetivos (MARSHALL JUNIOR et al., 2012).

As ferramentas fundamentais para esta fase são: *brainstorming*, diagrama de Ishikawa, *failure mode and effect analysis* (FMEA), 5W2H, entre outras (WERKEMA, 2012).

2.3.3.5 Fase 5: controlar (*control*)

Marshall Junior et al. (2012) afirma que a última fase da metodologia DMAIC será a responsável pela continuidade do programa de melhoria, porém é preciso que se tenha certeza que os ganhos obtidos serão preservados. Logo, para que se tenha essa certeza, todos os procedimentos deverão estar documentados, assim como os resultados quantificados.

O desafio da implementação do *Six Sigma* é sustentar os resultados alcançados, devido a fatores ligados às pessoas, como mudança de cargo, de emprego e fatores relacionados ao processo. Contudo, a sustentabilidade dos resultados exige que os métodos sejam padronizados, além de introduzir o mecanismo de monitoramento dos resultados (GIJO; SCARIA; ANTONY, 2011).

Com o objetivo de monitorar a *performance* do processo e o alcance da meta, ferramentas como o índice de capacidade do processo, a folha de verificação e as instruções de trabalho podem ser utilizadas, evitando que ocorram problemas futuros (WERKEMA, 2012).

2.3.4 Métricas do *Six Sigma*

O programa *Six Sigma* faz uso de algumas medidas, ou métricas, com o objetivo de quantificar resultados de uma organização, podendo classificá-los em termos de variabilidade, bem como a geração de defeitos ou erros. Estas medidas podem auxiliar na identificação e projeção de metas a serem alcançadas (WERKEMA, 2006).

2.3.4.1 Índice de capacidade do processo

Os índices de capacidade do processo são considerados como parâmetros adimensionais que mensuram a capacidade do processo de atender as especificações. Os índices de capacidade poderão ser utilizados se o processo se apresentar sob controle, ou seja, não deve existir causas especiais atuando sobre ele (WERKEMA, 2006; COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2013). Logo, os índices de capacidade são (C_p) e (C_{pk}), apresentados nas fórmulas (1) e (2), respectivamente:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

$$C_{pk} = \min \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2)$$

Onde:

LSE: Limite superior de especificação;

LIE: Limite inferior de especificação;

σ : Desvio padrão;

μ : Média do processo

O índice de capacidade C_p , representado na Equação (1), mensura a folga presente entre os limites de especificação fornecidos pelo projeto e os limites de

especificação do processo, que são determinados pelos limites dos gráficos de controle (PEINADO; GRAEML, 2007).

A Equação (2), refere-se ao índice de capacidade unilateral C_{pk} , que foi desenvolvido para medir a capacidade de um processo quando o valor médio da especificação for diferente do valor da média dos gráficos de controle. O C_{pk} tem por objetivo medir o potencial do processo em apresentar resultados ruins frente aos limites superior e inferior de controle (PEINADO; GRAEML, 2007). Montgomery (2013) afirma que o C_p mede a capacidade potencial do processo e o C_{pk} mede a capacidade efetiva deste.

2.3.4.2 Métricas baseadas em defeituosos

O defeito é conceituado como uma falha no atendimento de uma especificação para atender e satisfazer as necessidades dos consumidores. Já um defeituoso é dito como uma unidade do produto que apresenta um ou mais defeitos (WERKEMA, 2012).

As métricas que são fundamentadas em um defeituoso não levam em consideração o número de defeitos, porém levam em consideração se um produto é defeituoso ou não. As duas principais métricas são definidas através de indicadores de proporção de defeituosos (p) e rendimento final (Y_{final}) (WERKEMA, 2012). As equações (3) e (4) apresentam as métricas relacionadas a proporção de defeituosos e ao rendimento final, respectivamente:

$$p = \frac{\text{Número de Defeituosos}}{\text{Número total de Unidades do Produto Avaliadas}} \quad (3)$$

$$Y_{final} = 1 - \text{Proporção de Defeituosos} \quad (4)$$

2.3.4.3 Métricas baseadas em defeitos

As métricas baseadas em defeitos consideram a quantidade de defeitos em um produto defeituoso, sendo assim, um defeituoso com defeito não equivale a um defeituoso sem defeito. Existem métricas essenciais baseadas em defeitos,

apresentadas pelas equações (5), (6) e (7), correspondendo a defeito por unidade (DPU), defeitos por oportunidade (DPO) e defeitos por milhão de oportunidade (DPMO), respectivamente (WERKEMA, 2012).

$$DPU = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número Total de Unidades do Produto Avaliado}} \quad (5)$$

$$DPO = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Nº Total de Unidades Produto Avaliadas X Nº de Oportunidades para Defeitos}} \quad (6)$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (7)$$

2.3.4.4 Escala sigma

O *Six Sigma* utiliza uma escala para medir o nível de qualidade de um determinado processo, sendo que uma tabela pode ser utilizada para transformar a quantidade de defeitos por milhão (DPMO) em um número na escala sigma, encontrando o nível de qualidade ao qual pertence o processo (WERKEMA, 2012). Os valores para DPMO, e a escala sigma equivalente, podem ser observados na Figura 4.

Sendo assim, logo após o cálculo do DPMO, converte-se o valor encontrado para a escala sigma, que indicará a eficácia de um processo produtivo. Utilizando da tabela sigma, podemos ver que um valor de 184.060 para o DPMO, leva a um nível sigma de 2,4, indicando que há possibilidade de melhorias, uma vez que o objetivo é chegar o mais próximo possível do valor 6.

Portanto, através da escala sigma apresentada na Figura 4, o DPMO calculado para o processo pode ser transformado, sendo que quanto maior o valor encontrado na escala sigma, maior será o nível de qualidade.

Figura 4 - Escala Sigma

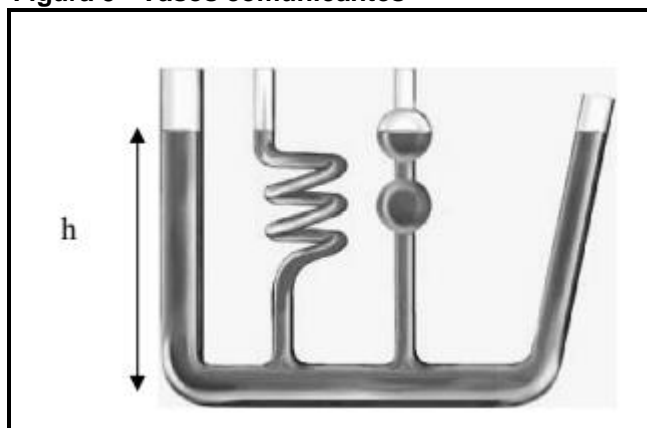
Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO
0	933.193	1,2	617.912	2,4	184.060	3,6	17.865	4,8	483
0,05	926.471	1,25	598.706	2,45	171.056	3,65	15.778	4,85	404
0,1	919.243	1,3	579.260	2,5	158.655	3,7	13.904	4,9	337
0,15	911.492	1,35	559.618	2,55	146.859	3,75	12.225	4,95	280
0,2	903.199	1,4	539.828	2,6	135.666	3,8	10.724	5	233
0,25	894.350	1,45	519.939	2,65	125.072	3,85	9.387	5,05	193
0,3	884.930	1,5	500.000	2,7	115.070	3,9	8.198	5,1	159
0,35	874.928	1,55	480.061	2,75	105.650	3,95	7.143	5,15	131
0,4	864.334	1,6	460.172	2,8	96.800	4	6.210	5,2	108
0,45	853.141	1,65	440.382	2,85	88.508	4,05	5.386	5,25	89
0,5	841.345	1,7	420.740	2,9	80.757	4,1	4.661	5,3	72
0,55	828.944	1,75	401.294	2,95	73.529	4,15	4.024	5,35	59
0,6	815.940	1,8	382.088	3	66.807	4,2	3.467	5,4	48
0,65	802.338	1,85	363.169	3,05	60.571	4,25	2.980	5,45	39
0,7	788.145	1,9	344.578	3,1	54.799	4,3	2.555	5,5	32
0,75	773.373	1,95	326.355	3,15	49.471	4,35	2.186	5,55	26
0,8	758.036	2	308.537	3,2	44.565	4,4	1.866	5,6	21
0,85	742.154	2,05	291.160	3,25	40.059	4,45	1.589	5,65	17
0,9	725.747	2,1	274.253	3,3	35.930	4,5	1.350	5,7	13
0,95	708.840	2,15	257.846	3,35	32.157	4,55	1.144	5,75	11
1	691.463	2,2	241.964	3,4	28.717	4,6	968	5,8	9
1,05	673.645	2,25	226.627	3,45	25.588	4,65	816	5,85	7
1,1	655.422	2,3	211.856	3,5	22.750	4,7	687	5,9	5
1,15	636.831	2,35	197.663	3,55	20.182	4,75	577	5,95	4
								6	3

Fonte: Adaptado de Werkema (2012) p. 159

2.4 PRINCÍPIO DOS VASOS COMUNICANTES

O sistema dos vasos comunicantes é composto por uma ligação feita por um tubo entre dois ou mais recipientes de forma que o fluido em um recipiente possa escoar livremente pelo tubo para o outro recipiente. Todas as partes deste sistema são preenchidas por um fluido, sendo que a densidade destes podem ou não serem diferentes (LAGO, 2010).

Em um líquido que se encontra em recipientes interligados, onde cada um dos recipientes possui forma e capacidade diferentes, a altura do fluido será igual em todos os recipientes após atingir o equilíbrio (PILLING, 2019). Tal princípio pode ser observado na Figura 5, onde a altura do fluido é representada pela letra h.

Figura 5 - Vasos comunicantes

Fonte: Pilling (2019)

Este fenômeno ocorre devido a pressão exercida pelo líquido, sendo que as demais grandezas (pressão atmosférica, densidade e aceleração da gravidade) são consideradas como constante. Um exemplo para o uso deste princípio são as caixas e reservatórios de água, onde é possível receber ou distribuir água sem a necessidade de bombas para auxiliar no deslocamento do líquido (PILLING, 2019).

2.5 FERRAMENTAS

O uso de ferramentas no *Six Sigma* se faz necessário para que seja possível sua aplicação. A seguir são apresentadas as sete ferramentas da qualidade, que podem ser incorporadas ao *Six Sigma*, bem como ferramentas adicionais que foram utilizadas neste trabalho.

2.5.1 Ferramentas Básicas da Qualidade

De acordo com Peinado e Graeml (2007), a literatura técnica sobre qualidade reconhece sete ferramentas básicas que tem como objetivo auxiliar na localização, compreensão e eliminação de problemas que afetam a qualidade do produto ou serviço. As próximas seções apresentarão as sete ferramentas básicas que são: gráfico de Pareto, diagrama de Ishikawa, histograma, folhas de verificação, diagrama de dispersão, cartas de controle e estratificação.

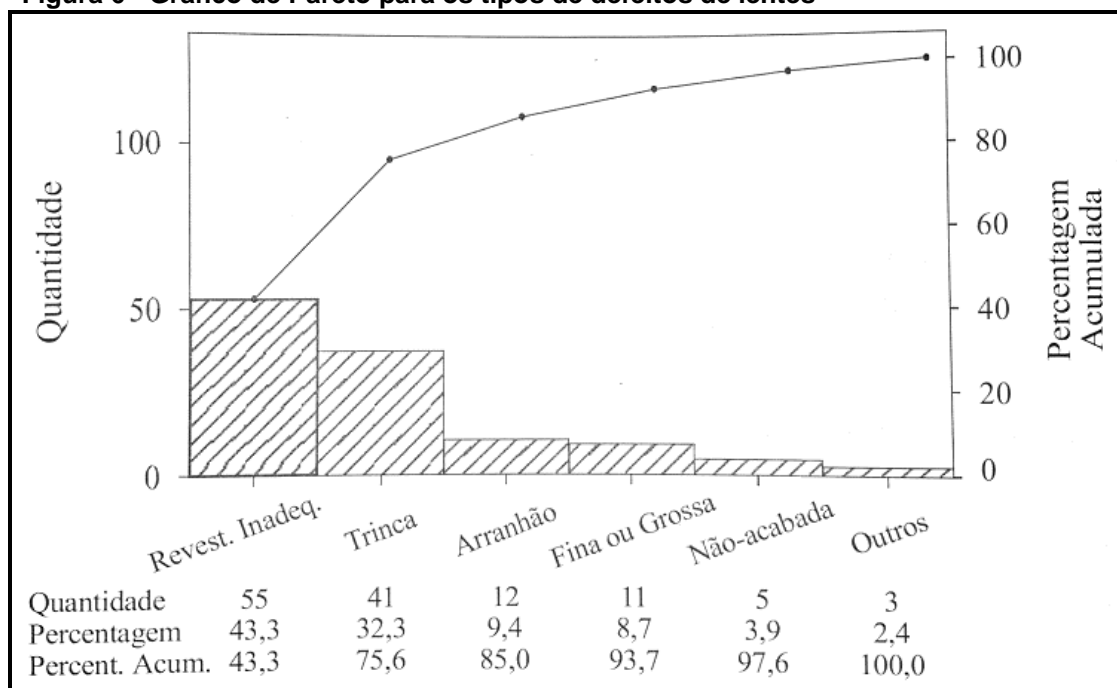
2.5.1.1 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é constituído por barras verticais, as quais são ordenadas de maneira decrescente, sendo que as barras representam a frequência na qual um evento ocorre, utilizando-se de uma coleta de dados para sua construção. No gráfico também é traçada uma curva que apresenta as porcentagens dos dados acumulados (WERKEMA, 2006).

O princípio de Pareto é conhecido pela proporção 80/20, que é uma teoria baseada na ideia de que 80% dos problemas acarretam em cerca de 20% das causas especiais. Também pode ser interpretado que dos 20% dos problemas que aparecem, cerca de 80% deles causam dores de cabeça (PRADO FILHO, 2009).

O gráfico de Pareto é uma ferramenta simples que ajuda a identificar e priorizar os problemas, auxiliando a concentrar recursos para resolver as causas dos problemas mais relevantes (MARTINELLI, 2009). A Figura 6, apresenta um exemplo de gráfico de Pareto em relação aos defeitos de lentes.

Figura 6 - Gráfico de Pareto para os tipos de defeitos de lentes



Fonte: Werkema (2006) p. 74

Como pode ser observado na Figura 6, o revestimento inadequado, a ocorrência de trincas e os arranhões, representados pelas três primeiras barras verticais, correspondem a 85% das causas dos defeitos nas lentes, sendo adequado

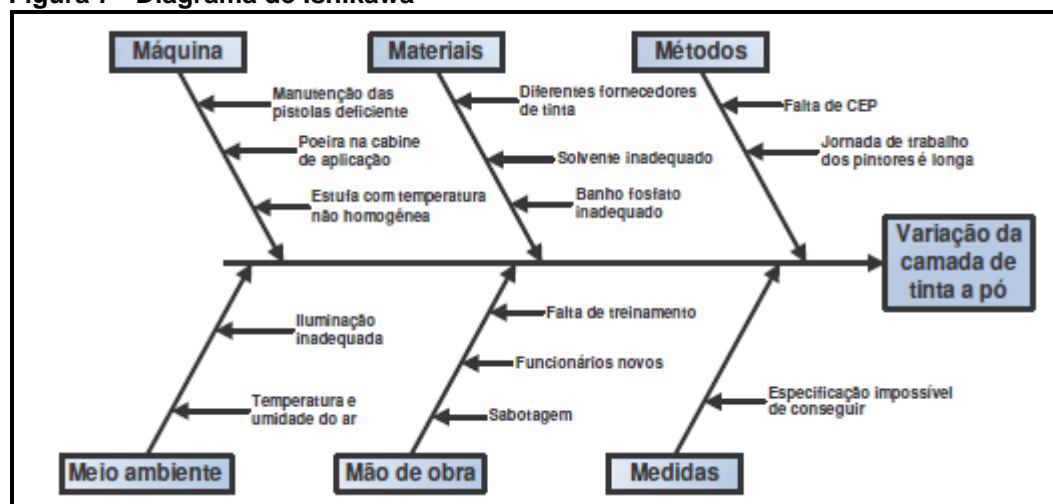
priorizar a resolução destes problemas com a finalidade de reduzir os defeitos deste produto.

2.5.1.2 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de causa efeito, também chamado de diagrama espinha de peixe, é uma representação gráfica, que facilita a identificação, exploração e apresentação das possíveis causas de uma determinada situação ou problema específico (PEINADO; GRAEML, 2007).

O diagrama de Ishikawa possui um formato que lembra a estrutura de um peixe, no qual o problema, ou o tópico a ser estudado, é escrito na “cabeça”, e as possíveis causas do problema são elencadas no “osso” central. As causas para o problema são divididas em seis tópicos: máquina, matéria-prima, mão de obra, meio ambiente, medidas e método, auxiliando no entendimento do problema estudado (CAMPOS, 2004). A Figura 7 apresenta um exemplo de diagrama de Ishikawa para o problema de variação da camada de tinta a pó.

Figura 7 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Peinado e Graeml (2007) p. 552

Como pode ser observado na Figura 7, o diagrama de Ishikawa apresenta o problema em sua extremidade direita (efeito), que neste caso diz respeito à variação da camada de tinta a pó, sendo elencadas possíveis causas, como por exemplo a iluminação inadequada do ambiente, quando se considera o fator meio ambiente na análise.

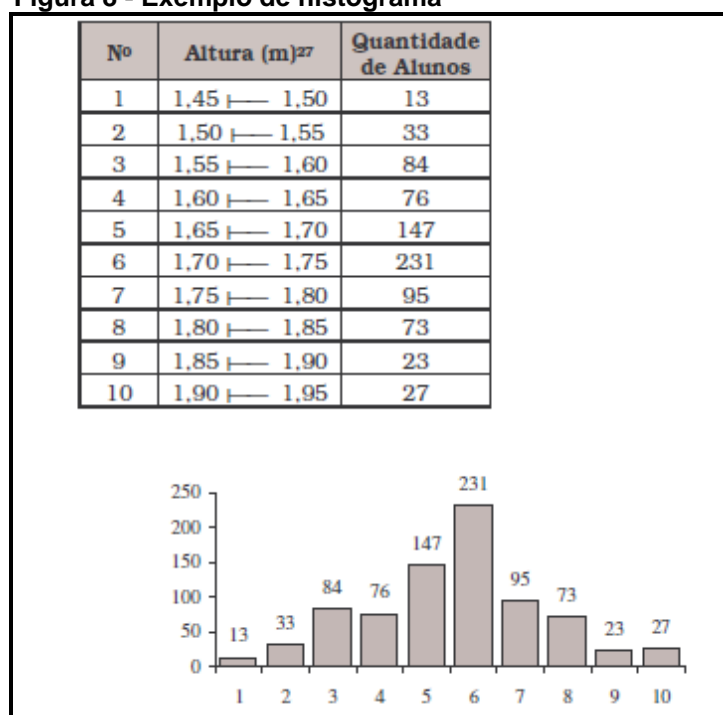
Segundo Carpinetti (2012), o diagrama de Ishikawa deve ser elaborado por um grupo de pessoas que estejam envolvidas no processo, para que seja possível construir um diagrama completo que não omita causas importantes.

2.5.1.3 Histograma

O histograma é um gráfico de barras que apresenta a distribuição dos dados por categoria. Ele representa uma distribuição de frequência agrupada estatisticamente em classes, sendo possível a observação da tendência central dos valores e sua variabilidade (MARSHALL JUNIOR et al., 2012).

A Figura 8 apresenta como exemplo um histograma que leva em consideração a altura dos alunos.

Figura 8 - Exemplo de histograma



Fonte: Peinado e Graeml (2007) p. 554

Na Figura 8 pode ser observada a divisão dos dados em 10 classes, sendo que cada classe corresponde a uma determinada faixa de altura para os alunos analisados. Pode-se inferir também que os indivíduos pertencentes a classe 6 ocorrem com maior frequência, ou seja, entre os alunos é mais frequente a ocorrência de indivíduos que possuem altura entre 1,70m e 1,75m.

De acordo com Carpinetti (2012), a comparação de dados resultantes de um processo na forma de um histograma, levando em consideração os limites de especificação do processo, permite responder as seguintes perguntas:

- O processo é capaz de atender às especificações?
- A média da distribuição das medidas da característica da qualidade está próxima do valor nominal?
- É necessário adotar alguma medida para diminuir a variabilidade do processo?

2.5.1.4 Folha de verificação

A folha de verificação é uma ferramenta utilizada para planejar a coleta de dados, quando há necessidade de analisar estes dados futuramente. Sendo assim, a coleta de dados é simplificada e organizada, eliminando a necessidade de rearranjar os dados posteriormente (CARPINETTI, 2012).

Esta ferramenta apresenta-se no formato de um formulário que contém os itens a serem examinados. Existem vários modelos de folha de verificação e a escolha de qual tipo de folha será utilizada depende do objetivo da coleta dos dados (WERKEMA, 2006). A Figura 9, apresenta um exemplo de folha de verificação.

Figura 9 - Folha de verificação para a classificação de defeitos

Tipo	Rejeitados	Subtotal
Marcas	/// /// /// /// /// //	27
Trincas	/// /// /// ///	18
Incompleto	/// /// /// /// /// /// /// /// /// //	47
Distorção	////	4
Outros	/// //	7
	Total Geral	103
Total rejeitados	/// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /	71

Fonte: Adaptado de Carpinetti (2012) p. 79

A Figura 9, mostra uma folha de verificação, classificando os tipos de defeitos dos produtos entre: marcas, trincas, produto incompleto, distorção e outros,

apontando a quantidade de itens rejeitados para cada tipo de defeito, bem como o total rejeitado.

2.5.1.5 Diagrama de dispersão

O diagrama de dispersão, também chamado de diagrama de correlação, é um gráfico que auxilia na visualização do tipo de relacionamento existente entre duas variáveis, comprovando a relação entre uma causa e um efeito (PEINADO; GRAEML, 2007).

Através do diagrama pode-se identificar a tendência de correlação entre duas ou mais variáveis, sendo que esta avaliação de tendência colabora para melhorar a eficiência dos métodos de controle (WERKEMA, 2006).

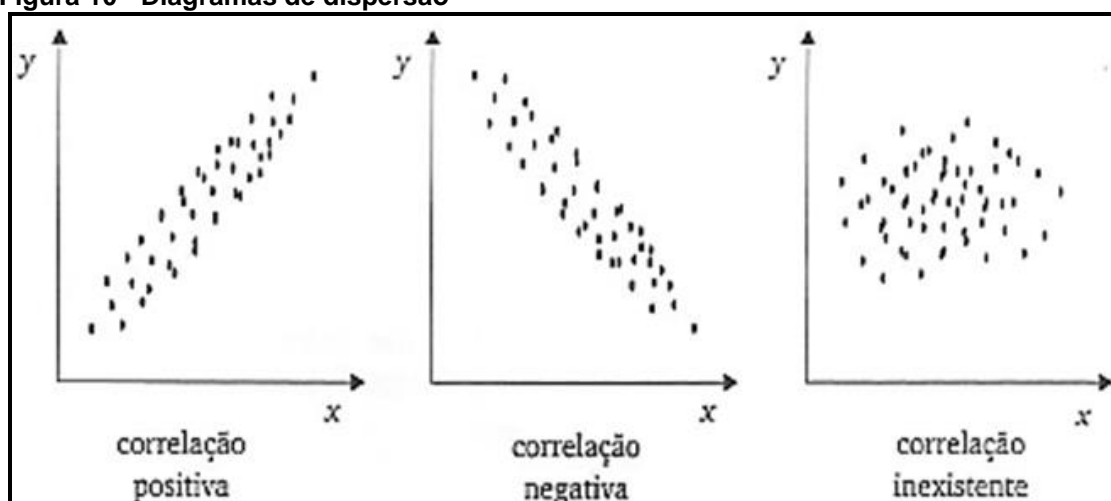
Segundo Carpinetti (2012), há alguns padrões de relacionamento entre duas variáveis que podem ser identificados através do diagrama:

- Relação positiva: o aumento em uma variável resultará no aumento da outra variável;
- Relação negativa: o aumento em uma variável resultará na diminuição da outra variável;
- Relação inexistente: a variação de uma variável não resultará na variação da outra variável.

A Figura 10, apresenta três diagramas de dispersão, bem como os padrões existentes entre as variáveis.

É possível observar na Figura 10 que a maneira como os pontos estão dispostos no gráfico define o tipo de correlação existente entre as variáveis consideradas, visto que a correlação positiva é encontrada quando os pontos estão dispostos de maneira crescente, considerando o eixo x (horizontal) da esquerda para a direita. De maneira análoga, a correlação negativa é verificada quando os pontos apresentam um padrão decrescente, considerando o eixo x.

Figura 10 - Diagramas de dispersão



Fonte: Carpinetti (2012) p. 90

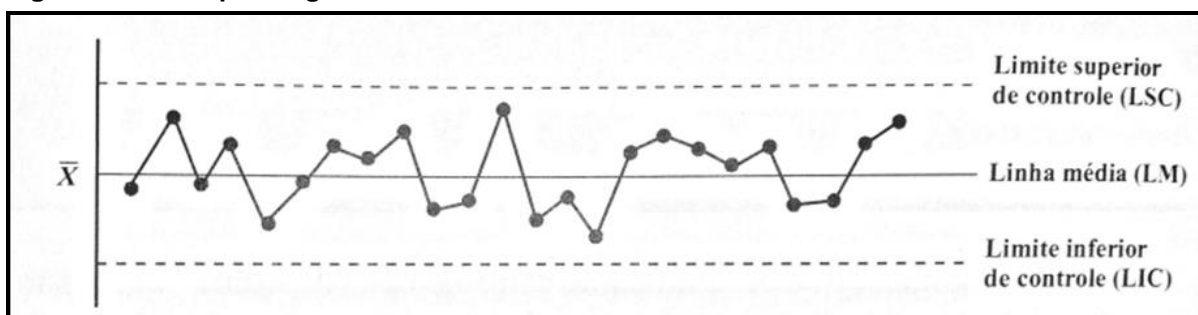
2.5.1.6 Cartas de controle

As cartas de controle surgiram na década de 1920, sendo que o responsável pelo seu surgimento foi o Walter Shewhart e o uso desta ferramenta ainda continua em desenvolvimento através de novas aplicações em diversas áreas (SHEWHART, 1926).

A carta de controle é um tipo específico de gráfico de controle, e através dela é possível acompanhar a variabilidade de um processo, identificando causas comuns e causas especiais (MARSHALL JUNIOR et al., 2012).

O gráfico de controle é constituído de três partes: uma linha central (LM), que representa o valor médio da característica de qualidade que se está monitorando, e uma linha superior e inferior, que são chamadas, respectivamente, de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). As linhas do gráfico garantem que o processo se encontra sob controle, e a partir da disposição dos pontos entre elas é possível entender o resultado dos dados coletados (WERKEMA, 2006). A Figura 11, mostra um exemplo de gráfico de controle.

Figura 11 - Exemplo de gráfico de controle



Fonte: Werkema (2006) p. 184

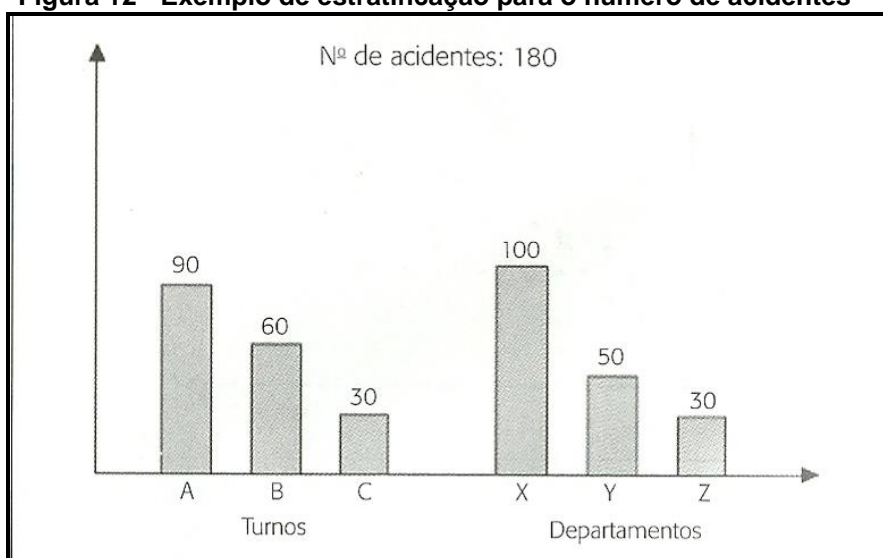
O exemplo de gráfico de controle mostrado na Figura 11 apresenta todos os pontos entre os limites superior e inferior de controle, que é a situação desejada, indicando que este processo está sob controle estatístico.

2.5.1.7 Estratificação

A estratificação é uma ferramenta da qualidade que consiste no desdobramento dos dados, sendo que este pode ser feito através de grupos, categorias, ou ainda por estratos que tem por finalidade determinar sua composição (MARSHALL JUNIOR et al., 2012).

A estratificação dos dados tem por finalidade identificar como a variação de cada grupo de dados interfere no resultado do processo, auxiliando na investigação dos problemas. Vale ressaltar que para analisar os dados de maneira estratificada é necessário que a origem dos dados seja identificada, sendo assim, esta ferramenta se torna bastante útil na fase de análise e observação dos dados (CARPINETTI, 2012). A Figura 12, apresenta uma forma de realizar a estratificação dos dados para o número de acidentes ocorridos.

Podem-se extrair informações com base na Figura 12 em relação ao número de acidentes por categorias, sendo estas, turnos e departamentos. Pode-se concluir que o maior número de ocorrência de acidentes ocorre no turno A e departamento X, correspondendo a 90 e 100 acidentes, respectivamente.

Figura 12 - Exemplo de estratificação para o número de acidentes

Fonte: Marshall Junior et al. (2012) p. 72

2.5.1.8 Matriz GUT

A matriz GUT é uma ferramenta utilizada para análise e tomada de decisão, pois auxilia na resolução do problema e indica a decisão a ser tomada, levando em consideração as atribuições humanas. As letras que formam o nome da matriz GUT referem-se às seguintes palavras: gravidade, urgência e tendência (SELEME; STADLER, 2010).

A gravidade está associada ao grau de importância do problema analisado em relação aos outros problemas existentes. A urgência observa o prazo para resolver tal problema, isto é, se o problema demandar uma resposta rápida, maior será a sua urgência. E a tendência está relacionada à gravidade do problema, ou seja, relacionada à possibilidade deste evoluir ao longo do tempo, aumentando ou diminuindo (SELEME; STADLER, 2010).

Importante destacar que a matriz GUT não considera os três fatores isoladamente, mas analisa o relacionamento entre eles, sendo adotados pesos para cada fator, o que depende da situação encontrada para o problema, conforme apresenta a Figura 13 (SELEME; STADLER, 2010).

Figura 13 - Matriz GUT

valor	gravidade	urgência	tendência	G . U . T
5	gravíssima	ação imediata	agravar rapidamente	125
4	muito grave	ação rápida	agravar no curto prazo	64
3	grave	ação normal	agravar no médio prazo	27
2	pouco grave	ação lenta	agravar no longo prazo	8
1	menor gravidade	pode esperar	acomodar	1

Fonte: Seleme, Stadler (2010) p.100

Como pode ser observado na Figura 13 a matriz GUT estabelece pesos conforme o nível de importância de cada fator, permitindo identificar qual ação terá o impacto mais negativo para a organização. Considerando um determinado problema como gravíssimo, o peso atribuído a ele será 5 (o maior dos pesos); em casos que o problema necessite de uma ação imediata tem-se o peso 5 para urgência, e se no curto prazo a tendência do problema se agrava, o peso atribuído será 4. Logo, o valor da matriz GUT para o problema em questão resultará na multiplicação dos pesos atribuídos a cada fator, ou seja, $(G)5 * (U)5 * (T)4$, totalizando 100 pontos (SELEME; STADLER, 2010).

2.5.2 Ferramentas do *Six Sigma*

O *Six Sigma*, incorpora em cada etapa da metodologia DMAIC as ferramentas básicas da qualidade, além destas, faz-se uso de outras ferramentas como: *project charter* e o SIPOC que serão abordados nesta seção.

2.5.2.1 Project charter

O *project charter* é uma ferramenta que determina os objetivos do projeto, identificando as partes interessadas, as funções e responsabilidades da equipe envolvida no projeto (VINODH; KUMAR; VIMAL, 2014). A Figura 14 apresenta um exemplo de *project charter*.

Figura 14 - Modelo de um project charter

Nome do Projeto	Gerente	Patrocinador	Data
Objetivo			
Benefícios			
Prazo:		Custo:	
Premissas		Restrições	
Escopo Macro			
Equipe			
Identificação dos Riscos			
Aprovações			
Patrocinador	Gerente	Empresa	

Fonte: Adaptado de Carvalho e Rabechini (2011)

Conforme apresentado na Figura 14, o *project charter* deve conter as seguintes informações: título do projeto, objetivos, premissas, restrições, resultados esperados, escopo macro, organização dos interessados e principais riscos (CARVALHO; RABECHINI, 2011).

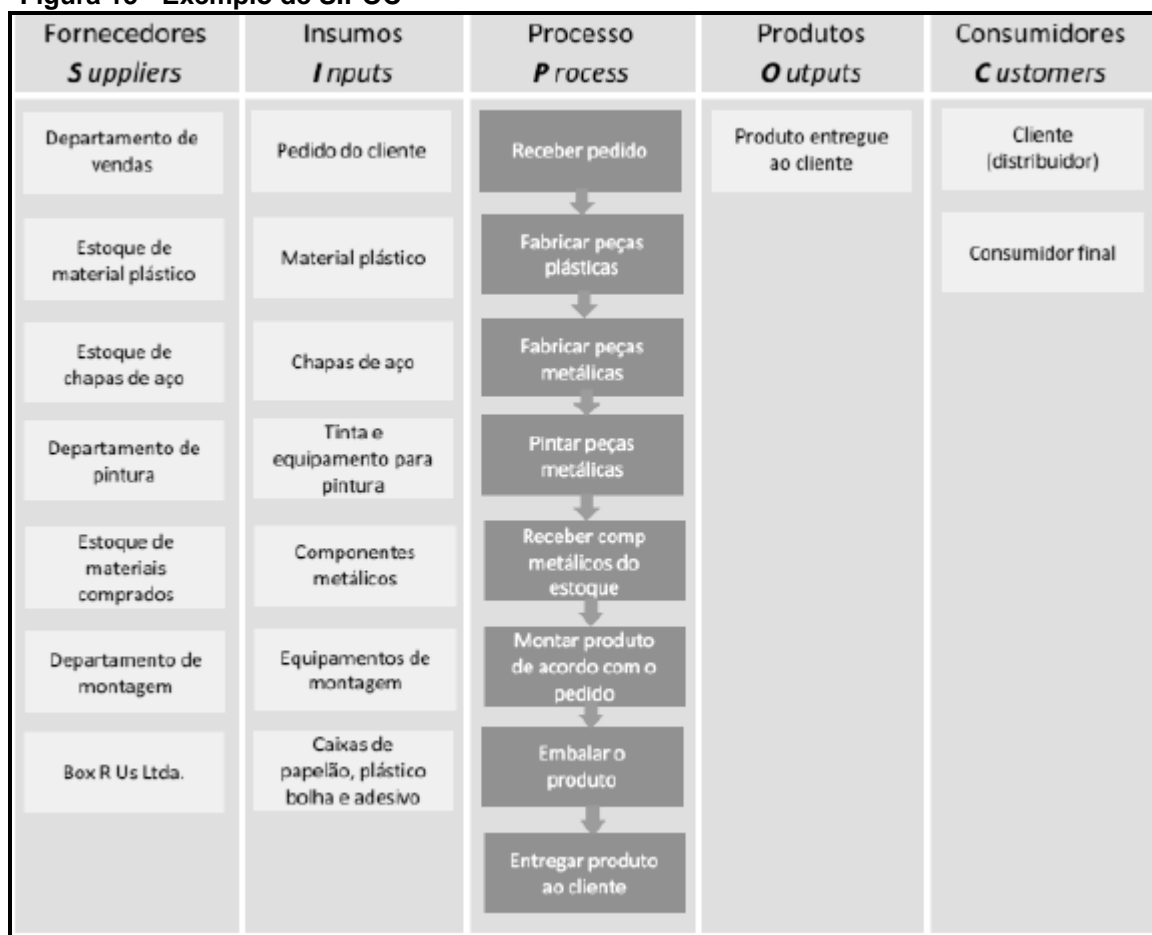
2.5.2.2 Mapeamento de processos

A finalidade do mapeamento de processos é representar de maneira lógica o real funcionamento de uma organização. O objetivo é desenvolver um “mapa de processo”, que apresente graficamente o relacionamento entre os elementos presentes na organização e as atividades desenvolvidas (CARPINETTI, 2012).

Uma das ferramentas utilizadas para o mapeamento de processos é o SIPOC, que tem por finalidade determinar o principal processo envolvido no projeto, além de facilitar a visualização do escopo (WERKEMA, 2012). Esta ferramenta auxilia também em uma melhor compreensão do sistema, possibilitando o alcance de melhorias (PYZDEK, 2003; ALSYOUF et al., 2016).

O SIPOC é uma sigla onde cada letra representa um item do processo: Fornecedores (*Supplier*), Entradas (*Inputs*), Processo (*Process*), Saídas (*Output*) e Clientes (*Customers*) (WERKEMA, 2012). O diagrama SIPOC é utilizado na primeira fase do projeto (*Define*), porém é extremamente importante nas fases seguintes (GEORGE, 2003). A Figura 15, apresenta um exemplo de SIPOC.

Figura 15 - Exemplo de SIPOC



Fonte: Adaptado de Werkema (2012) p. 190

Conforme apresentado na Figura 15, os fornecedores são aqueles que provêm da matéria-prima a ser utilizada no processo; as entradas correspondem aos materiais disponibilizados; o processo é a transformação da matéria-prima no produto final; as saídas correspondem ao resultado obtido do processo e por fim os produtos e ou serviços são entregues ao cliente.

2.6 LEAN SIX SIGMA (LSS)

O *Lean Six Sigma* (LSS) é a integração da filosofia *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*, que foram integradas para se complementarem, pois enquanto o *Six Sigma* se utiliza de ferramentas estatísticas e de um método estruturado para a resolução de problemas, o *Lean Manufacturing* tem seu foco em melhorar a velocidade do processo e reduzir o tempo de produção (WERKEMA, 2012). A Figura 16 apresenta os objetivos de cada uma das filosofias.

Figura 16 - Objetivos do Lean e do Six Sigma



Fonte: Adaptado de Werkema (2012) p. 27

Como apresentado na Figura 16, a ideia fundamental do *Lean Manufacturing* é atuar sobre os desperdícios e a ideia relacionada ao *Six Sigma* é a eliminação da variação do processo. Com a ajuda do *Lean* é possível alcançar a simplicidade nas operações e o processo fica mais rápido. E a aplicação do *Six Sigma* colabora para o gerenciamento da complexidade presente no processo, tornando-o melhor. Ambas, trabalhando em conjunto, levam à melhoria do desempenho.

O *Lean Six Sigma*, consiste na combinação da manufatura enxuta com a metodologia de melhoria *Six Sigma*. Em suma, o LSS é uma abordagem voltada à melhoria e pode ser entendido também como uma estratégia de negócios que aprimora o desempenho do processo e resulta na satisfação do cliente, permitindo,

através do uso de ferramentas, que hajam mudanças no processo considerado (SNEE, 2010; DROHOMERETSKI et al., 2014).

O LSS tem como essência a eliminação dos desperdícios e da variabilidade, afetando a satisfação do cliente em termos de qualidade, entrega do produto e custo. Essa integração entre *Lean* e o *Six Sigma* proporciona redução na variabilidade e nos erros do processo. Além disso, elimina-se o tempo de retrabalho, melhora-se a produtividade, a flexibilidade do sistema e é possível reduzir os níveis de estoque entre as estações de trabalho (BENDELL, 2006; CHEN; LI; SHADY, 2010; SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010).

Com relação ao objetivo final, tanto o *Lean* quanto o *Six Sigma* têm como propósito atingir a qualidade por toda parte, desde o serviço prestado ao cliente até a educação da força de trabalho, com o pensamento cultural direcionado às melhorias. É importante lembrar também que a ideia de atuar sobre a causa raiz de um problema identificado deve sempre ser seguida, pois é mais efetivo do que tratar apenas os sintomas, eliminando a fonte dos problemas (SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010; SNEE, 2010).

Pepper e Spedding (2010), comentam sobre a importância da integração entre o *Lean* e o *Six Sigma* quando ocorre sua implantação, pois pode ocorrer que essas duas filosofias sejam aplicadas de maneira isolada, quando não era a intenção inicial, resultando em uma aplicação ineficaz tanto do *Lean* quanto do *Six Sigma*, criando duas subculturas dentro da organização que competem entre si pelos mesmos recursos.

No que diz respeito à integração entre as duas filosofias, Salah, Rahim e Carretero (2010) apresentam 6 modelos encontrados nas organizações:

1. Utilização do *Lean Manufacturing* como metodologia e do *Six Sigma* como ferramenta em eventos *Kaizen*.
2. Utilização da estrutura DMAIC como metodologia e aplicação de ferramentas do *Lean Manufacturing*.
3. Utilização do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma* separadamente para resolver problemas distintos.
4. Aplicação do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma* de maneira paralela para resolver o mesmo problema.
5. Emprego do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma* de maneira contínua considerando o mesmo problema.

6. Aplicação integrada do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma*.

Desta maneira, percebe-se que a integração prevista pelo LSS pode ocorrer de maneiras diferentes, uma vez que não há um único modelo para sua aplicação.

2.7 TRABALHOS CORRELATOS

O trabalho de Vinodh, Kumar e Vimal (2014), aborda a implementação da metodologia *Lean Six Sigma* em uma empresa indiana de fabricação de comutadores reativos, que tinha como finalidade reduzir os defeitos ocorridos na fabricação do produto e, desta maneira, satisfazer os clientes. Os resultados obtidos através da implementação do LSS foram o incremento de 10% na eficácia geral do equipamento e também a redução de estoque.

Já Sakumoto (2016) desenvolveu seu trabalho na cidade de Maringá, no Paraná, em uma cooperativa agroindustrial, no qual aplicou o LSS com o objetivo de aumentar a eficiência no recebimento de grãos. Com o auxílio das ferramentas da qualidade, foi possível reduzir o tempo de espera dos caminhões, bem como controlar o número de caminhões dentro do graneleiro, melhorando a eficiência.

Fernandes e Marins (2012) aplicaram o LSS em uma indústria metalúrgica, obtendo ganhos financeiros, redução de cerca de 15% nos custos relacionados ao fluxo de transporte, além de proporcionar capacitação para as equipes de trabalho, visando projetos futuros.

O trabalho apresentado por Simci e Pereira (2015) analisou a aplicabilidade do VSM (*Value Stream Mapping*), ferramenta do *Lean Manufacturing*, em um processo químico industrial. Obteve-se um resultado positivo com relação ao processo, indicando que o uso do VSM é uma ferramenta viável e benéfica para processos químicos.

Franz (2003) abordou a implementação da metodologia *Six Sigma* em uma indústria petroquímica, onde obteve-se redução no número de lotes redirecionados, além de ser possível apontar pontos de melhoria para a indústria estudada. Para a realização do trabalho, a metodologia DMAIC foi seguida, incorporando as ferramentas adequadas a cada fase, de acordo com a necessidade.

O Quadro 3 apresenta o ano, tipo de indústria e o objetivo de cada artigo, logo, nota-se o uso das duas metodologias, *Lean* e *Six Sigma*, em diferentes contextos e tipos de indústria.

Quadro 3 - Artigos correlatos

Ano	Tipo de indústria	Objetivo da aplicação do Lean Six Sigma no artigo
2014	Tecnologia da informação	Reduzir os defeitos ocorridos na fabricação dos produtos, aumentando a satisfação do cliente.
2016	Agroindustrial	Aumentar a eficiência no recebimento de grãos.
2012	Metalúrgica	Redução de 15% nos custos de transportes.
2015	Química	Análise da aplicabilidade da ferramenta VSM (<i>Value Stream Mapping</i>) no processo produtivo.
2003	Petroquímica	Reduzir o número de lotes redirecionados e identificação de melhorias.

Fonte: Autoria própria.

Contudo, o presente trabalho visa abordar o *Lean Six Sigma* em uma indústria química, abordagem que não é comumente adotada para este tipo de indústria.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos e ferramentas relacionadas ao *Lean Six Sigma* e que serão utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

Primeiramente comentou-se sobre a evolução da qualidade, sendo apresentadas suas eras e conceitos relacionados ao termo qualidade. Para explanação do tema *Lean Manufacturing*, primeiramente um breve histórico sobre o tema foi abordado, seguido por sua definição e apresentação dos tipos de desperdícios.

Na sequência abordou-se a metodologia *Six Sigma*, apresentando breve histórico, definição do conceito, metodologia DMAIC e as métricas utilizadas. Também se faz presente no trabalho as ferramentas da qualidade, compreendendo as ferramentas básicas da qualidade e ferramentas do *Six Sigma*.

Por fim, o capítulo trata da união entre as duas filosofias envoltas no tema do trabalho e comenta sobre trabalhos correlatos, identificando a abordagem dada pelos autores no desenvolvimento de seus trabalhos. Assim, foi possível compreender o processo de implementação do *Lean Six Sigma*, os quais permitirão cumprir os objetivos propostos neste trabalho.

O próximo capítulo apresentará a metodologia adotada para execução do presente trabalho.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordadas as etapas necessárias para o desenvolvimento deste trabalho. O capítulo está estruturado da seguinte maneira: classificação da pesquisa; apresentação do ambiente alvo do estudo; planejamento da metodologia, procedimentos utilizados na coleta dos dados e procedimentos relativos à análise e interpretação dos dados.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

As pesquisas podem ser classificadas quanto à sua natureza, abordagem, objetivo e procedimentos realizados. Com relação à natureza, este trabalho é considerado aplicado, pois gera conhecimento para aplicação prática, voltada a resolução de problemas pontuais (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010).

Quanto a abordagem deste trabalho, essa se caracteriza como quanti-qualitativa. O elemento qualitativo se faz presente devido à interpretação e compreensão dos fenômenos observados na organização por meio de visitação ao local. Já a ênfase quantitativa é verificada na intenção de mensuração das variáveis pesquisadas, realizando classificação e análise (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010; CAUCHICK MIGUEL et al., 2012).

Em relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória, pois proporciona maior convivência e intimidade com o problema, possibilitando a compreensão do assunto para a criação de hipóteses. Tais pesquisas envolvem, em sua maioria, o levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado (GIL, 2002).

No que diz respeito ao procedimento, a pesquisa é classificada como um estudo de caso, uma vez que faz uso de variados instrumentos para coleta de dados e visa compreender melhor eventos reais observados, permitindo o conhecimento macro detalhado (GIL, 1991; CAUCHICK MIGUEL et al., 2012).

3.2 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA DE DADOS

O propósito deste trabalho é aplicar a metodologia *Lean Six Sigma* no setor fabril. Para tal, buscou-se uma indústria ativa no mercado disposta a disponibilizar informações internas, de maneira íntegra, para aplicação do *Lean Six Sigma*. A indústria que aceitou ser objeto de estudo do trabalho, atua no ramo de fabricação de produtos químicos para limpeza e manutenção empresarial, está situada na região dos Campos Gerais, no estado do Paraná.

A estrutura organizacional desta empresa está disposta da seguinte maneira: diretoria, administração, comercial e produção, apresentando um quadro de 13 colaboradores. Trata-se de uma empresa de pequeno porte, pois possui faturamento menor ou igual a R\$3,6 milhões. Apresenta um sistema de produção intermitente com processo de manufatura em *jobbing*, contando com aproximadamente 300 produtos.

3.3 PLANEJAMENTO DA METODOLOGIA

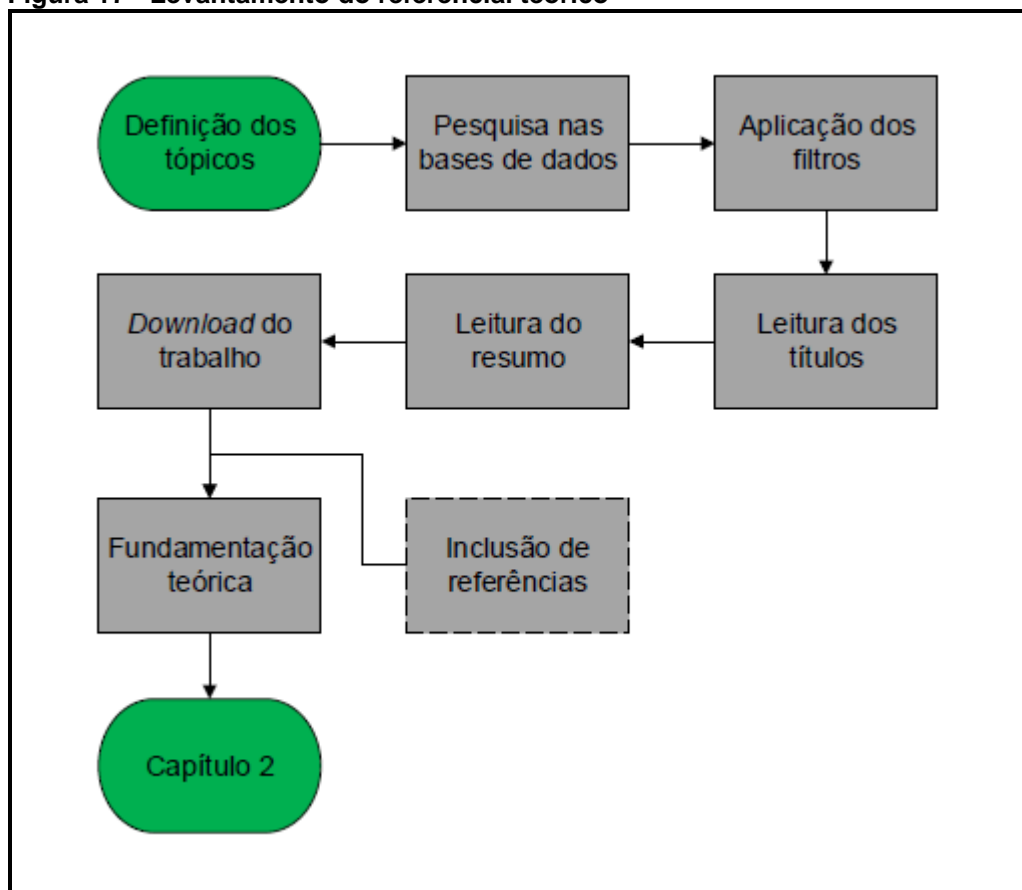
A primeira etapa deste trabalho diz respeito ao levantamento do referencial teórico, sendo pesquisados artigos de periódicos e livros relevantes sobre o tema. O processo de levantamento bibliográfico pode ser visualizado na Figura 17. Primeiramente foram definidos os tópicos que seriam pesquisados: breve história sobre o *Lean Manufacturing*, conceito de *Lean Manufacturing*, desperdícios, breve história sobre o *Six Sigma*, definição de *Six Sigma*, DMAIC e definição de *Lean Six Sigma*.

A partir disto, foram pesquisados os termos em inglês "*Lean Manufacturing*", "*Six Sigma*" e "*Lean Six Sigma*" nas bases de dados *Web Of Science*, *Science Direct* e *Scopus*, sendo examinados os artigos que possuíam publicação entre os anos de 2008 e 2018. Além disso, foram aplicados alguns filtros adicionais conforme a necessidade, como por exemplo mostrar apenas os artigos que fossem voltados à engenharia, gestão e negócios e os artigos que se tratassem de revisão bibliográfica.

Após a aplicação dos filtros, os títulos dos artigos resultantes foram lidos para identificar se estes poderiam ajudar no desenvolvimento dos tópicos

previamente determinados. Se o título fosse compatível com os tópicos a serem desenvolvidos, o artigo era selecionado para que a leitura do resumo fosse feita. Após a leitura do resumo do trabalho, este era selecionado ou não para que fosse feito o *download* da íntegra do trabalho.

Figura 17 - Levantamento do referencial teórico



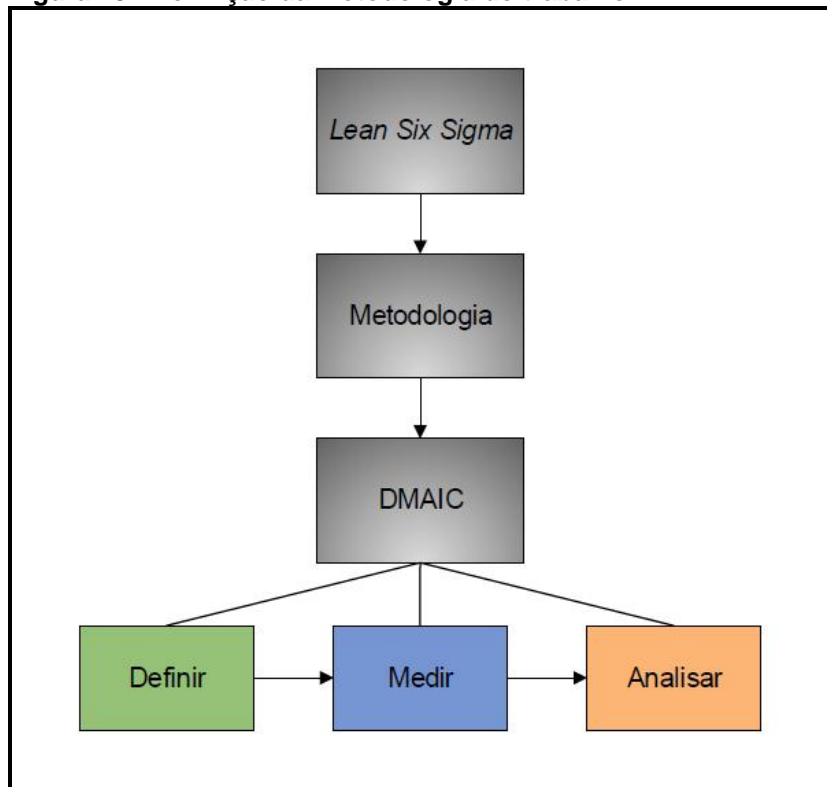
Fonte: Autoria própria.

Mediante a íntegra do trabalho, uma leitura dinâmica foi realizada com o objetivo de localizar o trecho mais relevante para o desenvolvimento de determinado tópico, para então redigir o texto presente no capítulo 2, referente à fundamentação teórica. Além disso, foram incluídas referências que não correspondem ao período de 2008 a 2018, pois alguns artigos relacionados ao tema eram muito citados nos trabalhos previamente selecionados, os autores de alguns trabalhos são considerados referência no tema e alguns livros possuíam uma abordagem melhor desenvolvida sobre o assunto.

Com base na ideia de integrar a metodologia *Lean* e *Six Sigma*, foram observados também trabalhos correlatos, dando atenção à metodologia empregada pelos autores, para que fosse possível desenvolver a metodologia do presente

trabalho. Este processo de definição da metodologia pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18 - Definição da metodologia do trabalho



Fonte: Autoria própria.

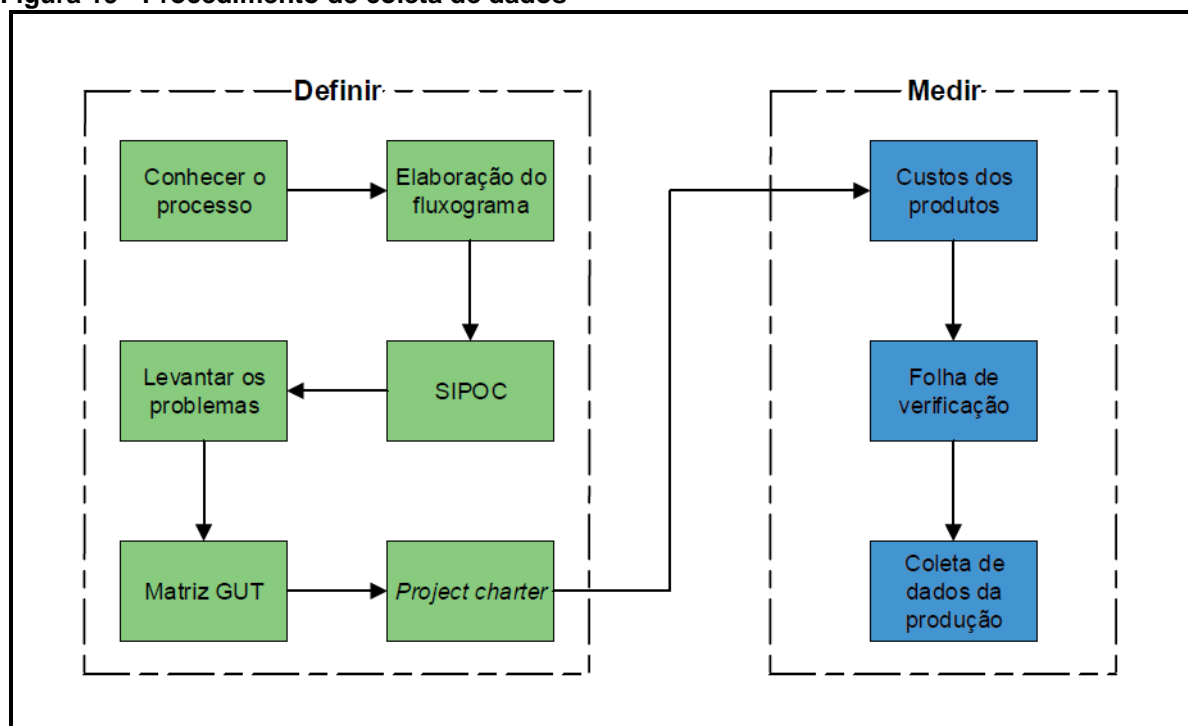
De acordo com o referencial teórico levantado, a metodologia DMAIC deve ser utilizada para que haja integração entre o *Lean* e o *Six Sigma* (SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010). A partir disso, estruturou-se o planejamento da metodologia deste trabalho, de maneira que o DMAIC seja dividido entre coleta de dados e análise dos dados. No entanto, vale ressaltar que o presente trabalho contempla apenas as três primeiras fases da metodologia DMAIC, que correspondem às fases definir, medir e analisar.

No procedimento de coleta de dados abordam-se as fases definir (*define*) e medir (*measure*), representadas pelas letras D e M da sigla DMAIC. Já no procedimento de interpretação e análise de dados, contempla-se a fase analisar (*analyze*).

3.4 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

De acordo com o planejamento da metodologia, no procedimento de coleta de dados foram compreendidas as fases definir e medir, como pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 - Procedimento de coleta de dados



Fonte: Autoria própria.

Como pode ser visualizado na Figura 19, a primeira etapa relacionada à coleta de dados diz respeito a conhecer o processo produtivo da empresa, para que as etapas seguintes possam ser executadas. Após o conhecimento do funcionamento do processo da empresa, houve a elaboração do fluxograma, sendo detalhadas as etapas observadas. Também foi desenvolvida a ferramenta SIPOC, voltada ao mapeamento do processo, para compreender o fluxo de produção, bem como suas entradas e saídas.

Utilizando de entrevistas não estruturadas com os responsáveis pela produção, foram levantados os problemas presentes no processo produtivo que podem afetar a qualidade. Após as entrevistas, houve a necessidade de priorizar os problemas encontrados, para que fosse definido o foco do trabalho, sendo utilizado para tal a matriz GUT. A elaboração do *project charter* foi a última etapa realizada na

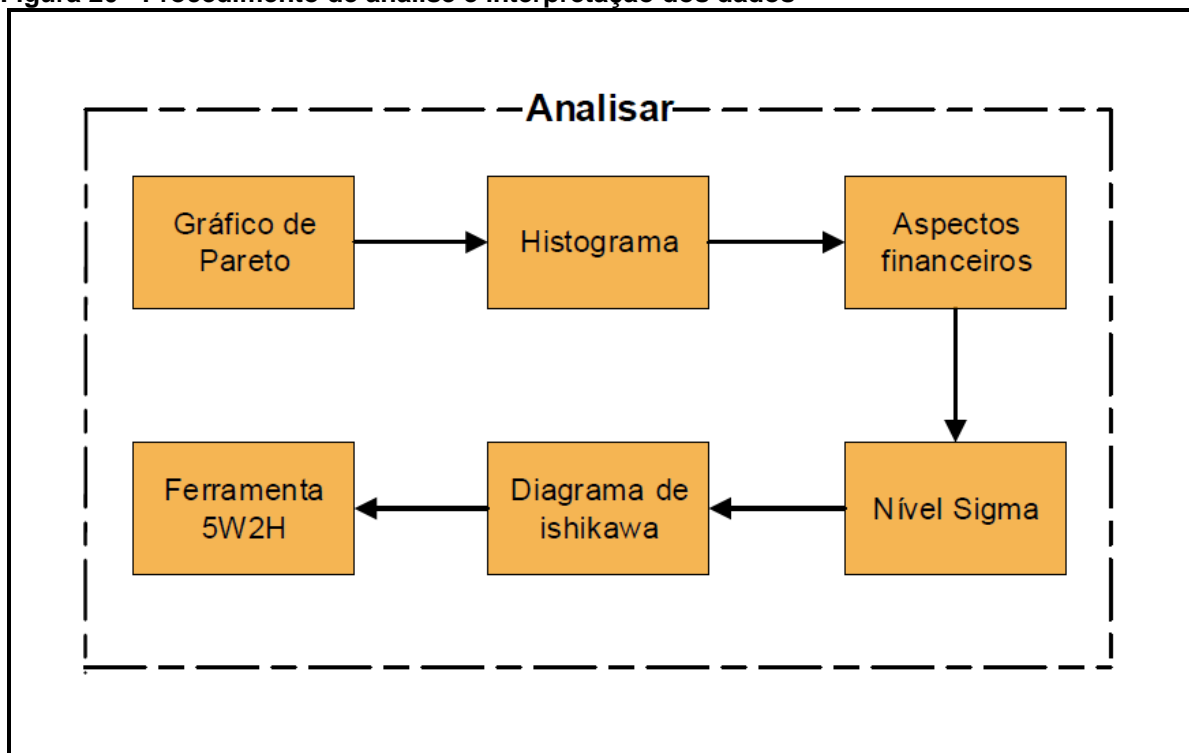
fase definir, descrevendo os envolvidos no projeto, os objetivos dele, resultados esperados e metas a serem alcançadas.

Após o término da fase definir, iniciou-se a fase medir, onde ocorreu a coleta de dados. Num primeiro momento os dados coletados estavam relacionados ao custo médio para produção dos produtos. Logo após, para que fosse possível mensurar as variáveis referentes ao problema, houve a necessidade de criar uma espécie de folha de verificação, encaminhada à produção e preenchida durante dois meses pelos operadores.

3.5 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

No procedimento de análise e interpretação dos dados, a fase incorporada da metodologia DMAIC é a analisar, conforme apresentado na Figura 20. Nesta fase foi utilizado as seguintes ferramentas: Gráfico de Pareto, Histograma, aspectos financeiros, Nível Sigma, Diagrama de Ishikawa e 5W2H.

Figura 20 - Procedimento de análise e interpretação dos dados



Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados coletados, o gráfico de Pareto foi utilizado para caracterização do setor de produção da empresa, apresentando as particularidades

de cada linha de produção. Na sequência foram elaborados os histogramas, para verificar se os dados coletados apresentavam a característica de dados normais. A partir da combinação dos custos dos produtos e da utilização das linhas de produção, foi realizada uma análise com relação aos aspectos financeiros. Adicionalmente, calculou-se o nível sigma do processo, com o intuito de verificar a situação atual por meio da escala sigma.

Como finalização desta fase, foram desenvolvidos o digrama de Ishikawa e a ferramenta 5W2H, que tinham como objetivo identificar as possíveis causas raízes do problema do projeto e propor algumas soluções para resolução do problema, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento de cada etapa da metodologia DMAIC, abordando as análises realizadas e os resultados obtidos por meio da execução do trabalho.

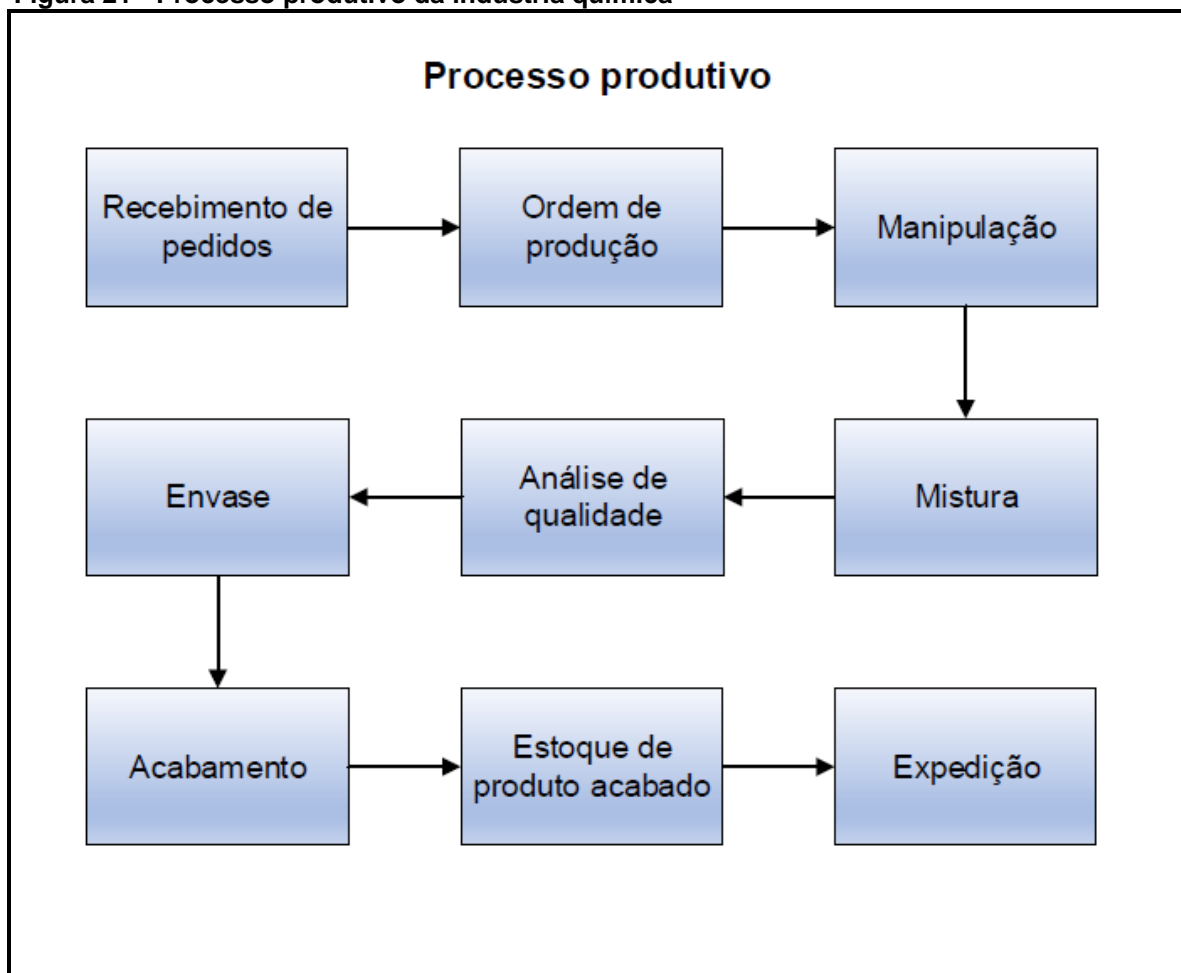
4.1 FASE DEFINIR

De acordo com a metodologia deste trabalho, o procedimento de coleta de dados inicia-se com a fase “definir”, sendo que a primeira etapa consiste em conhecer melhor o processo produtivo a ser estudado. Para tal, utilizou-se da observação por meio de visitas realizadas à empresa, sendo que os colaboradores que trabalham no setor da produção acompanhavam os executores deste trabalho, respondendo eventuais dúvidas e explicando a maneira com a qual realizam o trabalho. A partir destas visitas foi possível compreender melhor as etapas do processo, bem como analisar e levantar alguns pontos de possíveis melhorias. A Figura 21 apresenta o fluxograma do processo produtivo, sendo que este consiste nas seguintes etapas:

- **Recebimento de pedidos:** a empresa fabrica seus produtos a partir dos pedidos que recebe dos seus clientes, ou seja, a partir do momento que o cliente realiza o pedido, ocorre a produção, não sendo comum a produção para estocagem. A produção para estocagem ocorre quando esta é interessante economicamente, mas sempre tem como base um pedido realizado pelos clientes. O recebimento dos pedidos ocorre no departamento administrativo de vendas, sendo estes enviados de maneira eletrônica para o planejamento da produção.
- **Ordem de produção:** após o recebimento dos pedidos, o responsável pela produção verifica, com o auxílio de um *software* de gestão, a disponibilidade dos insumos para atender os pedidos, elaborando na sequência as ordens de produção para aquele dia. As ordens de produção são repassadas aos colaboradores por meio de uma lousa fixada na parede da área de produção, sendo acompanhada por três documentos que guiam

a execução do trabalho: ordem de produção, diário de bordo e análise de qualidade. A partir deste momento, o responsável pela manipulação visualiza na lousa os produtos que devem ser fabricados e apanha o documento “ordem de produção”, seguindo para a área de manipulação.

Figura 21 - Processo produtivo da indústria química



Fonte: Autoria própria.

- **Manipulação:** conforme o que determina a ordem de produção, é realizada a manipulação dos insumos, ou seja, todos os itens que compõe o produto final são medidos, pesados e previamente misturados. O documento “ordem de produção” contém todo o procedimento que deve ser realizado para produzir o produto, bem como a quantidade de insumo que deve ser adicionada à solução.
- **Mistura:** posteriormente à manipulação, os insumos pesados e previamente misturados são direcionados ao misturador, onde ocorre a adição de água e agitação da solução. O produto é agitado pelo período de

tempo determinado no documento “ordem de produção”, sendo posteriormente deixado em repouso.

- **Análise de qualidade:** com o produto ainda no misturador, uma amostra é retirada e direcionada ao laboratório para que seja feita a análise de qualidade, abrangendo aspectos como a aparência, cor, densidade, análise de PH, viscosidade e aroma do que foi produzido. Caso as características do produto não correspondam com aquilo que foi especificado, ocorre a correção do produto. A correção é realizada adicionando insumos àquilo que foi produzido, para que este atenda às especificações. A quantidade dos insumos que deve ser adicionada e quais insumos devem ser inseridos, são definidos pelo responsável pelo laboratório no momento da análise das características do produto.
- **Envase:** após a verificação das características técnicas do produto, ocorre o envase. Nesta etapa o produto está finalizado, sendo, portanto, envasado nas embalagens de acordo com a especificação do cliente, ou seja, de acordo com a quantidade solicitada e nas porções solicitadas. O envase é realizado de maneira manual pelos colaboradores da área de produção, sendo que o modo de garantir que a embalagem contenha a quantidade de produto solicitada, é aferindo a massa, em quilograma, com o auxílio de uma balança.
- **Acabamento:** após o término do envase, o rótulo é inserido nas embalagens, apresentando informações como: o tipo de produto, especificações técnicas, data de fabricação e data de validade. Os produtos são inseridos em caixas de papelão, para melhor acondicionamento, e seguem para o estoque de produto acabado.
- **Estoque de produto acabado:** o produto acabado é armazenado e o lote inspecionado, para que seja expedido conforme a solicitação do cliente. Em alguns casos o produto não é expedido no mesmo dia em que foi fabricado, precisando permanecer armazenado até que seja enviado ao cliente.
- **Expedição:** por fim, o produto é carregado nos caminhões para ser entregue ao cliente.

Na sequência, com o auxílio da ferramenta SIPOC, o processo foi desenhado para ser compreendido de maneira macro, de modo a facilitar o entendimento do escopo, no qual são apresentados os fornecedores, entradas, saídas, clientes e o processo em si, como pode ser visualizado na Figura 22.

Figura 22 - SIPOC do processo

FORNECEDOR	ENTRADA	PROCESSO	SAÍDA	CLIENTES
	Pedido do Cliente	Recebimento de Pedidos	Pedido Aprovado	Cliente industrial
Companhia de energia	Pedido aprovado para produção	Ordem de Produção	Separação dos insumos necessários	Distribuidor para produtos de limpeza
Companhia de água	Matéria Prima	Manipulação	Pré solução	Construtoras
Fornecedores de insumo	Água	Mistura	Solução final	Hospitais
Empresa de embalagem	Colaborador da qualidade	Análise de Qualidade	Liberação para o envase	
Gráfica para rótulo dos produtos	Embalagens	Envase	Pesagem das embalagens	
	Etiquetadora	Acabamento dos pedidos	Armazenamento em caixas	
	Produto final	Estoque de produto acabado	Expedição	
	Transporte	Entrega		

Fonte: Autoria própria

O SIPOC foi elaborado com base nas visitas realizadas à empresa para conhecer melhor o processo produtivo, sendo indispensáveis nessa etapa a observação e o suporte dado pelos colaboradores da área de produção. Também foi com base nessas visitas que puderam ser constatadas as etapas do processo que apresentam problemas, ou seja, as etapas onde existem oportunidades de melhoria, sendo elas: a manipulação, mistura e envase.

As oportunidades de melhoria foram identificadas através da observação do funcionamento do processo, da realização de questionamentos aos responsáveis pela produção e aos colaboradores da área de produção, onde estes apontaram aquilo que, conforme sua visão, poderia ser modificado e melhorado.

As oportunidades de melhoria levantadas foram elencadas a seguir:

- Alta movimentação na etapa de manipulação dos insumos;

- Questões ergonômicas na manipulação;
- Dificuldades no transporte da mistura prévia até o misturador;
- Dificuldade na medição de água dos misturadores;
- Sobra de produto acabado;
- Acondicionamento da matéria prima;
- Dificuldade no envase de alguns produtos;
- Imprecisão da pesagem de matéria prima na balança mecânica;

Na etapa de manipulação dos insumos, o responsável do setor prepara a solução prévia do produto final, porém, foi identificado que para realizar esta atividade, o operador precisa se movimentar várias vezes para buscar os insumos, o que gera excesso de movimentação, desperdício de tempo e fadiga do operador. Além disso, nesta etapa há problemas ergonômicos, pois os insumos são acondicionados em tambores de aço de 200L e muitas vezes o operador precisa inclinar estes tambores para conseguir retirar os insumos acondicionados, podendo ocasionar problemas como lombalgia, dores nas costas, fadiga nos membros superiores e inferiores, entre outros.

Após a finalização da solução prévia, esta é transportada para os misturadores. Contudo, este transporte é feito em um carrinho que não possui grade de proteção, o que pode ocasionar o tombamento da solução prévia, visto que, durante o percurso da manipulação até os misturadores, existem aclives e declives.

Para se obter o produto final, a solução prévia é colocada no misturador e ocorre o acréscimo de água. Atualmente existe dificuldade em medir exatamente a quantidade de água a ser inserida no misturador, pois não há nenhum tipo de marcação no tanque. Esta medida é feita com o auxílio de um instrumento de madeira que contém medidas correspondentes a litros de água. Entretanto, esta maneira de medir a quantidade de água não é precisa, o que pode ocasionar a superprodução do produto (sobras) ou quebra da produção (produzir menos que o esperado).

Como a empresa faz uso de insumos químicos e estes podem ser suscetíveis a mudança de estado físico de acordo com a temperatura, deve-se acondicionar a matéria prima em lugares adequados, pois o comprometimento de

alguma propriedade física da matéria prima pode ocasionar atraso e retrabalho na produção, além de afetar a qualidade do produto.

O envase é realizado de maneira manual e com diversos utensílios improvisados pelos operadores do setor. Para produtos que apresentam característica viscosa, os operadores possuem dificuldade em envasar os produtos, pois se trata de um produto que precisa de pressão para ser envasado adequadamente, e no momento a empresa não possui maquinário para este tipo de envase, fazendo com que dois operadores trabalhem em conjunto para conseguir envasar uma única embalagem, podendo resultar em perda de produto, desperdício de tempo e desperdício de mão de obra.

Ainda na etapa de manipulação, quando é lançada uma ordem de produção que exige a fabricação de grande quantidade de produto, o operador necessita medir os insumos com o auxílio de uma balança mecânica. Entretanto, a balança não fornece precisão na medição dos insumos, podendo ocorrer arredondamentos de casas decimais, o que leva à utilização de uma quantidade maior de matéria prima do que a quantidade realmente necessária.

Com o objetivo de auxiliar na priorização dos problemas, utilizou-se a matriz GUT, onde foram listadas as oportunidades de melhoria e atribuídas notas à cada fator, considerando os problemas elencados anteriormente. A matriz GUT construída pode ser observada na Tabela 1.

Como mostra a Tabela 1, a partir da construção da matriz GUT foi possível priorizar os problemas, sendo que o problema escolhido para ser abordado pelo trabalho é aquele que resultou no maior índice, resultado da multiplicação entre gravidade, urgência e tendência.

O problema que resultou em um maior índice na matriz GUT diz respeito à dificuldade na medição de água dos misturadores. A água é a matéria prima presente em todos os produtos fabricados pela indústria química, portanto, sua correta medição pode impactar todos os produtos, levando a uma melhoria global.

Acredita-se que a medição de água está diretamente relacionada à sobra de produto acabado, uma vez que, para a produção de determinado produto, se for adicionado água nos misturadores além da quantidade necessária, ocorrerá a sobra da produção. Portanto, tratando o problema da medição de água, ocorrerá a redução da sobra da produção, sendo este aspecto considerado como objetivo do projeto.

Tabela 1 - Preenchimento da matriz GUT

Problemas	G	U	T	GUT	Prioridade
Alta movimentação na manipulação	3	4	3	$3 \times 4 \times 3 = 36$	4°
Questões ergonômicas na manipulação	3	4	3	$3 \times 4 \times 3 = 36$	4°
Dificuldades no transporte da mistura até o misturador	2	3	3	$2 \times 3 \times 3 = 18$	6°
Dificuldade na medição de água dos misturadores	5	5	5	$5 \times 5 \times 5 = 125$	1°
Sobra de produto acabado	5	4	4	$5 \times 4 \times 4 = 80$	2°
Acondicionamento da matéria prima	3	3	2	$3 \times 3 \times 2 = 18$	5°
Dificuldade no envase de alguns produtos	4	4	3	$4 \times 4 \times 3 = 48$	3°
Imprecisão da pesagem de matéria prima na balança mecânica	3	3	2	$3 \times 3 \times 2 = 18$	5°

Fonte: Autoria própria

Seguindo a metodologia proposta pelo trabalho, a próxima etapa diz respeito a elaborar o *project charter*, definindo o título do projeto, equipe responsável, meta a ser alcançada, entre outros assuntos pertinentes. Desta forma, elaborou-se o *project charter* com base no problema priorizado pela matriz GUT, e este pode ser visualizado no Quadro 4.

Quadro 4 - *Project charter* do trabalho

Project Charter	
Título do projeto	Proposta de Implementação da metodologia <i>Lean Six Sigma</i> em uma indústria química
Data de abertura do projeto	Agosto/2018
Cliente	<i>Forward</i> química do Brasil
CTQ	Quantidade de produto acabado que sobrou (kg) da produção dos produtos
Meta do projeto	Reduzir a sobra dos produtos ao menor índice possível, aproximando-se de 0%

Continua

Conclusão	
Membros da equipe	Alunos de Engenharia de Produção da UTFPR PG, Professora orientadora, Colaboradores do setor de produção da empresa e diretores
Benefícios esperados	Redução de desperdícios, Diminuição de custos de produção, redução de estoque de produto acabado, liberação de espaço físico

Fonte: Autoria própria

De acordo com o *project charter*, a meta do projeto é reduzir a quantidade de produto acabado que sobra da produção dos produtos, pois isto implica em superprodução, desperdício de matéria-prima e redução dos lucros da empresa.

4.1.1 Validação da etapa definir

Após a realização da etapa definir, as ferramentas elaboradas nesta etapa foram levadas ao responsável pela produção para realizar a validação de tudo aquilo que foi levantado, onde foram apresentados os problemas observados durante a execução da produção, o fluxograma que ilustra seu funcionamento, a ferramenta SIPOC, a matriz GUT e o *project charter*.

No que diz respeito ao fluxograma que apresenta o funcionamento da produção, o responsável sugeriu alterar alguns termos. Onde agora se lê “acabamento”, “estoque de produto acabado” e “entrega”, estava escrito “rotulação”, “expedição” e “entrega”, respectivamente, portanto, foram os termos substituídos.

Com relação ao SIPOC, o responsável pela produção sugeriu adicionar alguns clientes que inicialmente não haviam sido considerados. Quanto às oportunidades de melhoria levantadas, ele concordou com os problemas apresentados bem como com aquele que foi priorizado pela matriz GUT, para que fosse tratado como objetivo do trabalho e meta do *project charter*.

4.2 FASE MEDIR

A fase “Medir” é caracterizada pela coleta de dados, sendo que esta deve ser realizada de maneira que seja possível qualificar e quantificar o que foi definido

como meta principal do projeto na fase “Definir”. A meta estabelecida está relacionada a reduzir a sobra dos produtos ao menor índice possível, aproximando-se de 0%.

4.2.1 Coleta de dados relacionados ao fator financeiro

Foram coletados dados relacionados à questão financeira dos produtos, principalmente no que diz respeito ao custo médio que eles apresentam. Para isto foram disponibilizados pela empresa, por meio de seu sistema de gestão empresarial, a curva ABC dos produtos produzidos, que considerava a quantidade produzida e o custo dos produtos, sendo possível o cálculo do custo médio. Esta curva ABC considerou os produtos produzidos no período de 01 de janeiro de 2018 e 14 de novembro de 2018.

4.2.2 Coleta dos dados relacionados a sobras

Após a definição da meta do projeto, fez-se necessário criar um banco de dados que considerasse a sobra dos produtos, pois a empresa não possuía um histórico com estes dados, logo, a equipe do projeto elaborou um documento com o auxílio do *Microsoft Excel®* para que os funcionários anotassem as sobras ocorridas em cada produção. As anotações foram realizadas em uma folha de papel, uma espécie de folha de verificação, que ficava sob a responsabilidade dos funcionários da produção.

Conforme consta no Apêndice A, o documento disponibilizado para a empresa continha as seguintes informações: data da produção, nome do produto, quantidade solicitada, sobra de produção, quebra de produção, número da linha em que o produto foi feito e densidade do produto. Os termos sobra e quebra, são utilizados pela própria equipe de produção, sendo que a sobra corresponde à quantidade de produto produzida a mais que o solicitado e a quebra refere-se à quantidade de produto que faltou ser produzida.

Importante salientar que, embora a maioria dos produtos da empresa seja comercializado no estado líquido, todas as matérias-primas, e até mesmo o produto final, são medidos utilizando-se o quilograma como unidade de grandeza, uma vez

que isso facilita o processo de produção. Somente no final da produção, mais especificamente na operação de envase, há a conversão de quilogramas para litros, utilizando para tal a densidade do produto. Devido a esta característica, os dados referentes à sobra dos produtos têm como unidade o quilograma.

Foi estabelecido que a coleta dos dados teria uma duração de dois meses, para que se tivesse uma amostra representativa. Desta maneira, a coleta de dados se iniciou no dia 20 de novembro de 2018 e teve fim em 04 de fevereiro de 2019, totalizando 8 semanas de dados coletados. A Tabela 2 contém uma síntese dos dados coletados durante este período.

Tabela 2 - Síntese de dados coletados

Síntese dos dados coletados			
Linha de produção	Quantidade de vezes que a linha foi utilizada	Quantidade de vezes que houve sobra	Total de sobra em cada linha (Kg)
Linha Brute	157	21	101,22
Linha 1	35	8	119,42
Linha 6	10	2	45,02
Linha 5	2	1	19,5
Jarra	2	0	0
Linha 2	1	0	0

Fonte: Autoria própria

No período mencionado, a empresa teve um total de 207 produtos produzidos, dos quais 32 geraram sobras, representando uma quantia de 285,16 Kg de produto acabado. Já a quebra de produção foi observada em apenas 3 produtos, totalizando 34,62 Kg. A fim de analisar as sobras de produção, os dados foram estratificados de acordo com as linhas de produção da empresa, sendo que durante o período de coleta, a empresa fez uso de 6 linhas de produção, conforme pode ser observado na Tabela 2.

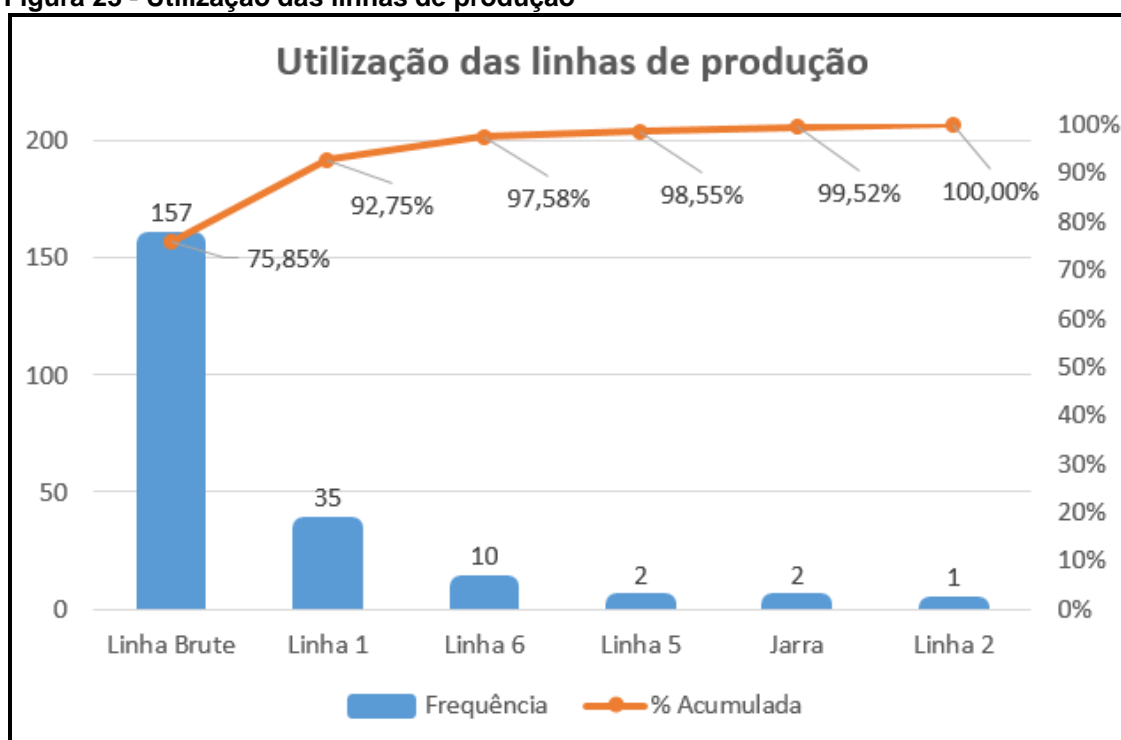
4.3 FASE ANALISAR

A fase “analisar” tem por objetivo identificar as causas raízes do problema, e as fontes de desperdício, alinhado a meta do projeto, as análises foram feitas em relação às sobras de produção.

4.3.1 Análise da utilização das linhas de produção

As linhas de produção se distinguem por sua capacidade, sendo que os misturadores das Linhas 1 e 4 são capazes de produzir 1.000 Kg, das Linhas 2 e 3 2.000 kg, as Linhas 5 e 6 tem capacidade de 3.000 kg, o Brute produz 100 Kg e a Jarra 2 kg. A escolha do uso de cada linha é baseada na demanda diária, ou então pela facilidade de uso e manuseio da linha. A partir dos dados coletados, foi possível a construção do gráfico apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Utilização das linhas de produção



Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado na Figura 23, a Linha Brute foi a mais utilizada para a fabricação dos produtos, correspondendo a 75,85% da produção no período em que os dados foram coletados. Os produtos feitos nesta linha apresentaram uma média de 73,19 Kg, sendo 500 Kg o valor máximo encontrado e 5 Kg a menor demanda para esta linha.

Considerando a Linha Brute juntamente com a Linha 1, que foi a segunda mais utilizada, estas correspondem a 92,75% da produção do período. Entretanto a Linha 1 apresenta algumas características distintas às da Linha Brute, uma vez que

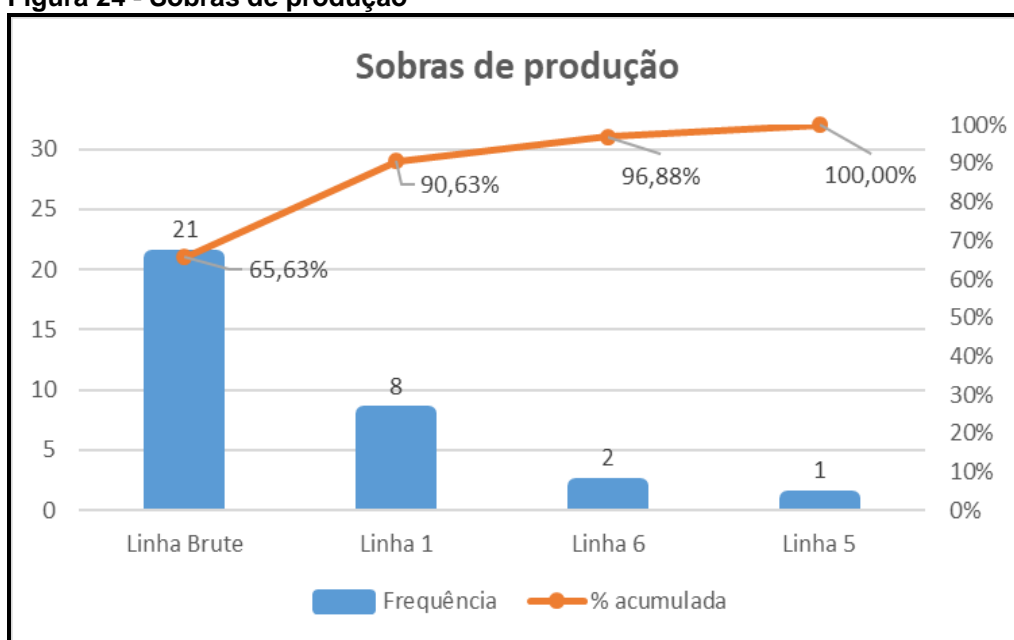
a quantidade média dos produtos produzidos foi de 290,6 Kg, a maior demanda foi de 679 Kg e a menor 120 Kg.

A terceira linha mais utilizada, a Linha 6, apresenta como quantidade média demandada 611,11 Kg, o maior valor demandado foi de 1.260 Kg e o menor foi de 50 Kg nesta linha. Importante mencionar que a Linha 6 concentra as produções com maior quantidade de produtos em quilogramas, isto é, de todos os dados coletados, na Linha 6 foram fabricados os maiores pedidos recebidos pela empresa, em termos de quantidade, considerando o quilograma como unidade de medida.

Já a Linha 5 foi utilizada apenas 2 vezes no período analisado, sendo que em ambas as produções o mesmo produto foi fabricado e na mesma quantidade, 800 Kg. No que diz respeito à jarra, esta é utilizada para a produção de pequenas quantidades de produto, o que está geralmente relacionado à produção de amostras para os clientes. Conforme a coleta de dados, a jarra teve apenas 2 utilizações e em ambas foram produzidas apenas 1 Kg de produto. A Linha 2, a menos utilizada, produziu 400 Kg do produto, não apresentando sobras.

Em relação às sobras nas linhas de produção, foi possível construir o gráfico da Figura 24, que apresenta em percentual e em quantidade quais foram as linhas que evidenciaram mais sobras.

Figura 24 - Sobras de produção



Fonte: Autoria própria.

A Figura 24 apresenta apenas 4 linhas de produção, e não mais as 6 linhas vistas anteriormente no gráfico da Figura 23, isto porque a Linha 2 e a jarra não apresentaram sobras durante o período analisado. Também pode ser observado que a mesma ordem apresentada no gráfico de utilização das linhas de produção, se manteve na Figura 24, isto é, além de ser a linha de produção mais utilizada, a Brute é aquela que apresentou sobras mais vezes, seguida da Linha 1, Linha 6 e Linha 5, respectivamente.

Durante a coleta de dados foram evidenciadas 32 vezes em que houve sobra de produção, sendo 21 vezes na Linha Brute, 8 vezes na Linha 1, 2 vezes na Linha 6 e 1 vez na Linha 5. A linha Brute e a Linha 1 somadas correspondem a 90,63% da quantidade de vezes que houve sobra.

Analisando os dados de uma outra maneira, desta vez considerando a frequência relativa entre as vezes que a linha de produção foi utilizada e as vezes que esta apresentou sobras, pode-se construir a Tabela 3.

Tabela 3 - Sobras: frequência relativa

Linha de produção	Quantidade de vezes que a linha foi utilizada	Quantidade de vezes que houve sobra	Frequência relativa	Total de sobra em cada linha (Kg)
Linha 5	2	1	50,00%	19,5
Linha 1	35	8	22,86%	119,42
Linha 6	10	2	20,00%	45,02
Linha Brute	157	21	13,38%	101,215

Fonte: Autoria própria

A frequência relativa mostra em porcentagem quantas vezes houve falha (sobra) do produto naquela linha de produção, desta maneira, considerando a Linha 5, que foi utilizada para produção apenas 2 vezes, das quais uma delas exibiu sobra, tem-se que 50% dos produtos feitos naquela linha apresentaram sobras. A mesma lógica se aplica às demais linhas de produção contidas na Tabela 3. Desta maneira, considerando como prioritário o maior valor percentual, a ordenação observada nas Figuras 23 e 24 se inverte na Tabela 3, apresentando, nesta ordem, a Linha 5, Linha 1, Linha 6 e Linha Brute como prioridade no tratamento do problema.

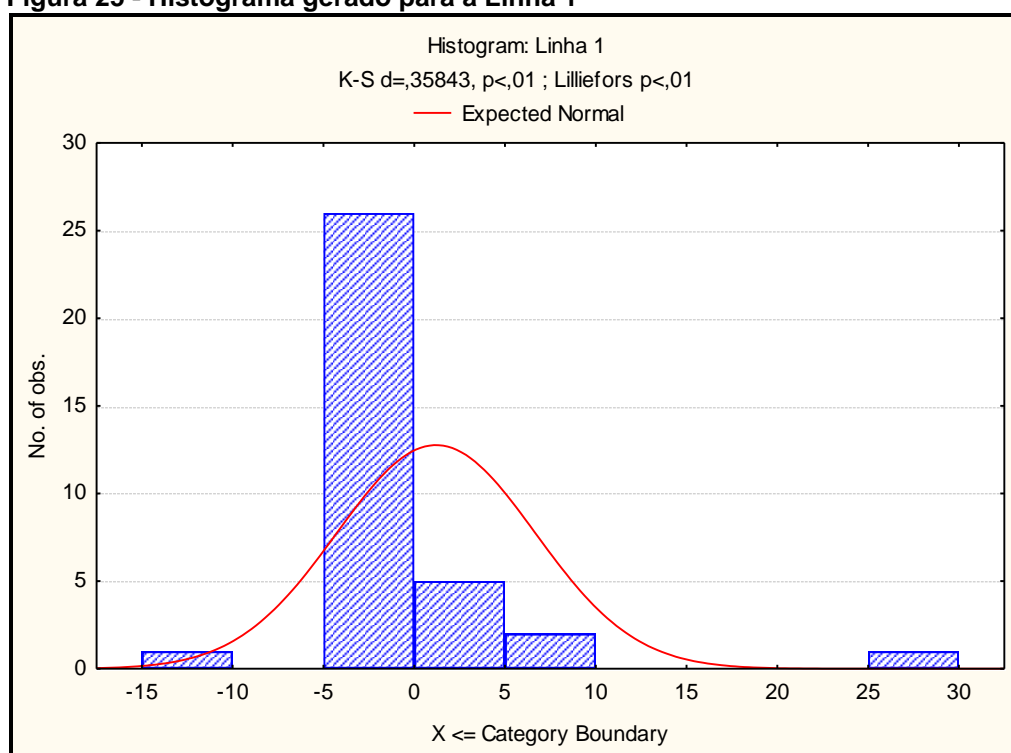
A fim de verificar o comportamento dos dados coletados, foi construído o histograma de algumas das linhas de produção para verificar se eles possuíam distribuição normal. Importante mencionar que os dados utilizados para realizar tal

análise correspondem exclusivamente às sobras, ou excesso de produção, verificado na Linha. Foram gerados dois histogramas, que correspondem às Linhas 1 e Brute, devido ao fato destas serem as mais utilizadas.

Para que fosse possível realizar tal análise, os dados foram considerados em termos percentuais, isto é, foi realizado o cálculo do quociente entre as sobras do produto e a quantidade solicitada deste, sendo tal valor tomado como porcentagem. Este procedimento foi adotado porque na maioria dos pedidos existem quantidades diferentes de produto demandadas pelos clientes, bem como quantidades diferentes de sobras do produto, sendo esta a maneira encontrada para igualar os dados em uma mesma unidade de medida e assim utilizá-los na análise do histograma.

Os histogramas foram feitos com auxílio do *software STATISTICA*® 7, e apresentam na parte superior o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para verificação da normalidade dos dados. Na Figura 25 é possível observar o histograma gerado para a Linha 1.

Figura 25 - Histograma gerado para a Linha 1



Fonte: Autoria própria

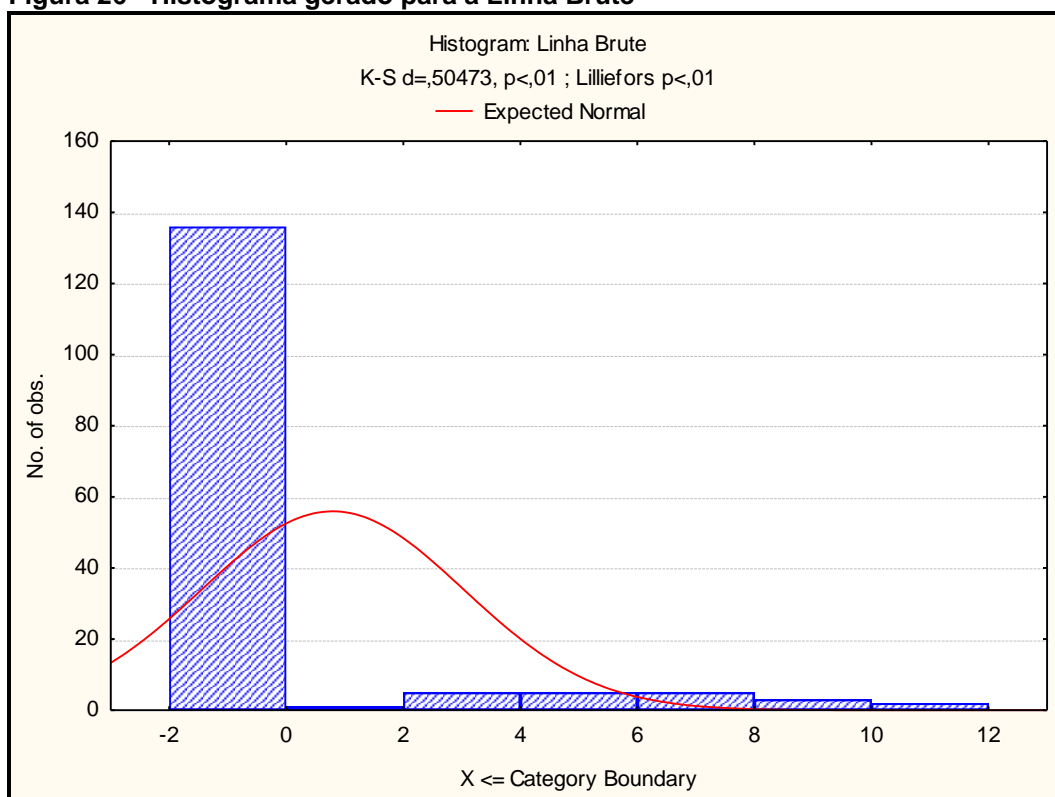
Como é possível observar no histograma, os dados não possuem um formato de sino em sua distribuição, sendo que a maioria deles apresenta como

resultado o valor de 0% e são observadas sobras em apenas 8 das 35 vezes que a Linha foi utilizada. Aparece também no histograma uma observação com valor negativo, isto porque houve quebra de produção nesta Linha, ou seja, faltou produto de acordo com a quantidade que tinha sido demandada, logo, a porcentagem resultante do quociente entre quebra de produção (em Kg) e quantidade demandada (em Kg) assumiu valor negativo.

No topo do histograma também é apresentado o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, representado pelas letras K-S, sendo utilizado um valor de 5% para o nível de significância. Como pode ser observado, o teste resultou em um nível de significância $p < 0,05$, assumindo um valor de $p < 0,01$, indicando que os dados não possuem distribuição normal.

Já a Figura 26 traz o histograma gerado para a Linha Brute. Conforme o que pode ser observado no histograma, existe uma concentração de dados no valor 0%, uma vez que 136 dados assumiram tal valor, visto que das 157 observações realizadas, 21 delas apresentaram sobras, portanto, valores distintos de 0%.

Figura 26 - Histograma gerado para a Linha Brute



Fonte: Autoria própria

É possível constatar também que não há uma distribuição no formato de sino, uma das evidências da não-normalidade dos dados. Isto é confirmado pelo

teste de Kolmogorov-Smirnov presente na parte superior do gráfico, que apresenta um nível de significância inferior a 0,05 ($p < 0,01$), portanto os dados não podem ser considerados normais.

Devido a estas características, não é possível utilizar o gráfico de controle, visto que uma das premissas é que os dados apresentem distribuição normal. Foram realizadas, portanto, tentativas de normalização dos dados através da transformação de Box-Cox e transformação de Johnson com o auxílio do *software Minitab*® 17, entretanto não foi possível realizar a normalização devido à quantidade de dados e valores apresentados.

Foi possível também realizar uma análise financeira da ocorrência das sobras no processo produtivo, como apresenta o tópico seguinte.

4.3.2 Análise dos aspectos financeiros

O objetivo da análise financeira é identificar em termos monetários o quanto as sobras impactam na receita final da empresa. Com este objetivo, a análise foi baseada na quantidade, em quilogramas, de sobra dos produtos em cada linha de produção. Apesar de terem sido utilizadas seis Linhas de produção para a fabricação dos produtos, apenas quatro apresentaram sobras, sendo as Linhas 1, 5, 6 e a Linha Brute.

Os cálculos referentes aos aspectos financeiros foram realizados da seguinte maneira: foram verificados quais produtos apresentaram sobra em determinada Linha de produção e em que quantidade, sendo tal quantidade multiplicada pelo custo médio, em reais, obtido pela curva ABC fornecida pela empresa, por meio de seu sistema de gestão empresarial. Os custos foram somados e atribuídos a cada uma das linhas onde se verificou a sobra. A Tabela 4 apresenta os dados de acordo com o custo das sobras.

A Linha 1 foi responsável pela produção de 10.171 Kg de produtos e foi a linha que resultou em maior sobra, sendo 119,42 Kg. Monetariamente esta quantidade representa R\$ 433,20. Já a Linha Brute foi a que apresentou um total 11.491 Kg produzidos, com sobra de 101,22 Kg, que corresponde ao valor de R\$ 304,59.

Tabela 4 - Análise dos custos da sobra

Custos das sobras				
Linha de produção	Quantidade de vezes que a linha foi utilizada	Total produzido (kg)	Total de Sobra (kg)	Custo total (R\$)
Linha 1	35	10.171	119,42	R\$ 433,20
Linha Brute	157	11.491	101,22	R\$ 304,59
Linha 5	2	1.600	19,5	R\$ 90,87
Linha 6	10	5.860	45,02	R\$ 77,09
Total	204	29.122	285,16	R\$ 905,75

Fonte: Autoria própria

A Linha 5 apesar de ter sido utilizada apenas 2 vezes, produziu 1.600 Kg, com 19,5 Kg de sobra, o que resultou em R\$ 90,87. A Linha 6 produziu 5.860 Kg de produto, apresentando 45,02 Kg de sobra resultando em um valor de R\$ 77,09. No período de 40 dias, considerando as seis linhas de produção, a empresa produziu um total de 29.524 Kg de produtos, com total de sobra de 285,16 Kg, que financeiramente representa R\$ 905,75.

Como os dados obtidos correspondem a dois meses de produção, pode-se inferir que, se o comportamento da produção se verificasse constante ao longo do ano, isto é, se as mesmas características e os mesmos produtos continuassem a sobrar no decorrer do ano, basta multiplicar o custo total obtido por 6 para se obter o custo das sobras durante o ano. Sendo assim, o custo anual das sobras seria de R\$ 5.434,50, o que é equivalente à produção de 3.313,7 Kg do produto de maior demanda que a empresa possui hoje.

Conforme o que já foi apresentado anteriormente, as Linhas de produção foram utilizadas de maneiras diferentes, isto é, algumas linhas foram mais utilizadas que outras para realizar a produção dos produtos. Com o objetivo de transformar os dados em uma mesma unidade de medida para que seja possível comparar uma Linha com a outra e considerar aspectos financeiros, foi elaborada a Tabela 5.

O procedimento adotado foi dividir o custo total das sobras obtido em cada Linha pela quantidade de vezes que a Linha foi utilizada para a produção, resultando em um custo médio para as sobras. Este valor pode ser utilizado como uma indicação de qual linha precisa de uma atenção maior, uma vez que um valor maior implica em uma interferência maior no lucro da empresa. Pode-se entender este

número como uma indicação de quanto será o custo de sobras sempre que determinada Linha for utilizada para produção. Isto é, quando a Linha 5 for utilizada, R\$ 45,44 será o custo com as sobras geradas por esta linha de produção, por exemplo.

Tabela 5 - Custo das sobras por utilização das linhas de produção

Custos das sobras por utilização das linhas			
Linha de produção	Quantidade de vezes que a linha foi utilizada	Custo total (R\$)	Custo de sobras a cada vez que a linha for utilizada (R\$)
Linha 5	2	R\$ 90,87	R\$ 45,44
Linha 1	35	R\$ 433,20	R\$ 12,38
Linha 6	10	R\$ 77,09	R\$ 7,71
Linha Brute	157	R\$ 304,59	R\$ 1,94

Fonte: Autoria própria

Esta consideração feita na Tabela 5 permite priorizar a Linha que deve ser tratada para o problema das sobras, bem como permite visualizar que não necessariamente a Linha que apresentou um valor monetariamente maior, para as sobras, deve ser priorizada no tratamento do problema, pois a quantidade de vezes que a Linha foi utilizada também deve ser considerada.

4.3.3 Nível Sigma do processo atual

O nível sigma de um processo produtivo é baseado na quantidade de defeitos que o mesmo pode apresentar. Para definir o nível sigma do processo em estudo, foi levado em consideração os defeitos relacionados a sobra, pois o objetivo do trabalho é reduzir a quantidade de sobra dos produtos. Com isso, para fosse possível calcular o DPMO, foi necessário determinar os defeitos para a oportunidade, ou seja, quais são as variáveis que interferem na quantidade de sobra dos produtos. As variáveis que poderiam ocasionar sobra são: viscosidade do produto, quantidade de água nos misturadores, balança sem precisão, densidade do produto e quantidade de matéria prima. Estas variáveis foram definidas juntamente com os colaboradores da empresa. Desta forma, foram identificados cinco defeitos para oportunidade.

Com base na estratificação dos dados, constatou-se que, de um total de 207 produtos produzidos, 172 foram considerados conformes e 35 não conformes, ou seja, 35 produtos apresentaram sobra na produção. Conforme observado na Tabela 6, calculou-se primeiramente o DPO, que consiste em defeitos por oportunidade, e em seguida o DPMO, que apresenta o número de defeitos por milhão de oportunidades. Os cálculos destes itens foram feitos conforme apresenta as equações 9 e 10.

$$DPO = \frac{172}{(207*5)} = 0,166184 \quad (9)$$

$$DPMO = 0,166184*10^6 = 166.184 \quad (10)$$

A partir do cálculo do DPO e DPMO pode-se concluir sobre o nível sigma do processo, sendo que a Tabela 6 apresenta um compilado dos dados utilizados e dos resultados obtidos através dos cálculos.

Tabela 6 - Nível Sigma atual	
Nível Sigma	
Total produzido	207
Itens Conformes	172
Itens Não-Conformes	35
DPO	0,166184
DPMO	166.184
Nível Sigma	2,45

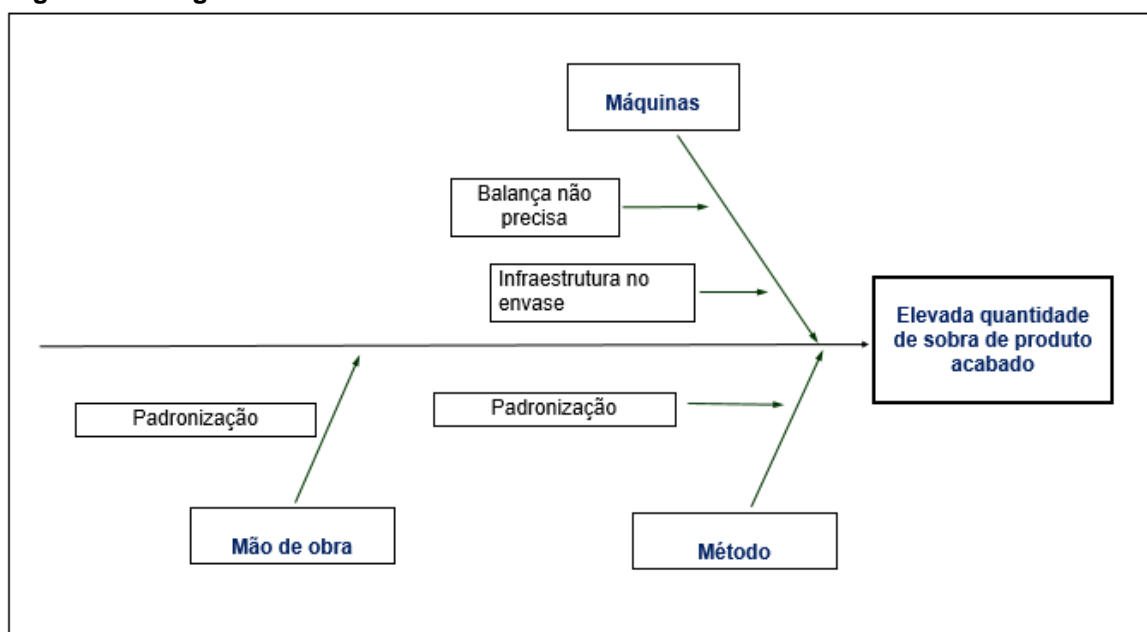
Fonte: Autoria própria (2019)

Com base nos resultados conclui-se que, no processo em estudo, a cada um milhão de produtos produzidos, há uma probabilidade de 166.184 produtos apresentarem sobra ou quebra. Para identificar o nível sigma do processo, utilizou-se a tabela de conversão para escala Sigma, apresentada na Figura 4, sendo assim, o valor correspondente é de 2,45 desvios padrão. Visto que o valor máximo para a escala sigma é de 6 desvios padrão, pode-se dizer que há oportunidade para melhoria do processo, no que diz respeito à sua estabilização, considerando o nível sigma.

4.3.4 Diagrama de Ishikawa

Durante o período da coleta dos dados, foi possível conhecer a maneira de trabalho da empresa e também realizar um *brainstorming* com a equipe da produção, onde verificou-se as possíveis causas da elevada quantidade de sobra de produto acabado, conforme apresenta a Figura 27.

Figura 27 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autoria própria.

Após a análise, foram identificadas quatro possíveis causas relacionadas a sobra dos produtos. Primeiramente em relação ao maquinário da empresa, elencaram-se duas principais causas, sendo a falta de precisão na balança utilizada e a infraestrutura no envase. Em relação à balança, a empresa utiliza com frequência balanças em seu processo produtivo, sendo que existem dois momentos que podem afetar na sobra: na preparação da matéria prima e no envase. Na preparação da matéria prima, a balança é utilizada para determinar a quantidade de cada insumo para compor a solução final, no entanto as balanças estão desgastadas e em alguns casos podem não estar aferidas.

Já no envase, as balanças determinam se a quantidade de produto na embalagem está correta, no entanto quando as embalagens são barris, ou seja, acima de 200 litros, os colaboradores precisam colocar pesos nas balanças juntamente com o barril, para que estas consigam ter uma melhor precisão em sua

medição. Logo, para tentar diminuir os erros de precisão das balanças, é sugerido verificá-las em cada estação de trabalho e, quando possível, realizar sua troca, para que se tenha uma escala adequada de acordo com a operação a ser realizada.

O processo de envase da empresa é totalmente manual, sendo que, para cada tipo de produto, os colaboradores precisam encontrar a melhor forma de envase. Contudo esta falta de infraestrutura no envase prejudica o andamento do processo, podendo inclusive causar fadiga nos colaboradores, pois em casos onde o produto é comercializado em forma de gel, por exemplo, encontra-se dificuldade no envase, devido ao seu estado físico. A sugestão para este caso seria trocar os equipamentos de envase, deixando-os mais precisos, a fim de evitar desperdícios e riscos à saúde do colaborador.

Em relação ao método, a empresa não possui um processo eficiente para medição da quantidade de água inserida nos misturadores, pois atualmente a medição ocorre com um varão de madeira, no qual existem algumas marcações apontando a quantidade de litros de água já inserida no misturador, sendo que este procedimento só ocorre na Linha 1.

Em relação à mão de obra, verifica-se que não há um padrão na maneira que o colaborador insere a quantidade de água nos misturadores, pois certas vezes utiliza-se uma mangueira para esta finalidade e outras vezes utiliza-se um contêiner com capacidade de 1.000 litros para que seja feita a medição da quantidade de água, o que depende da linha de produção com a qual se está trabalhando. Tais práticas podem ocasionar superprodução e retrabalho, caso seja inserida uma quantidade de água superior a necessária.

Desse modo tanto para o método quanto para mão de obra, uma maneira de solucionar esta questão seria a instalação de hidrômetros em cada misturador, porém cabe verificar sua viabilidade, pois é necessário que se realizem modificações físicas na empresa para tal implementação. Outra solução para este caso está relacionada à utilização do princípio dos vasos comunicantes, o que demandaria apenas uma mangueira, que seria graduada para apresentar a quantidade de água inserida nos misturadores.

4.3.5 Ferramenta 5W2H

Em vista de tudo o que foi apresentado anteriormente, foi elaborada a ferramenta 5W2H para visualizar melhor as sugestões de melhoria que podem ser implementadas no processo produtivo. Tal ferramenta pode ser visualizada no Quadro 5.

Com relação à ineficiência na medição da quantidade de água colocada nos misturadores, foram levantadas duas sugestões: a adoção de um hidrômetro e a elaboração de um aparato que se utiliza do princípio dos vasos comunicantes. O hidrômetro seria adotado mais especificamente no misturador presente na Linha 1, pois este é o misturador que possivelmente se adequará a esta sugestão.

Importante mencionar que a Linha 1 foi responsável, no período de dois meses, por cerca de 16,9% da produção dos produtos, sendo a segunda Linha mais utilizada na empresa, aquela que apresentou maior quantidade de sobra de produtos em quilogramas e cerca de 22,86% das vezes que foi utilizada, apresentou sobra de produtos.

A fim de verificar a viabilidade financeira do hidrômetro, realizou-se uma pesquisa sobre o preço deste, sendo que o preço médio de um hidrômetro que se adequaria às características presentes na Linha 1, é de R\$ 2.013. Desta maneira, pode-se inferir que, se a empresa realizar o investimento, em torno de um ano conseguirá pagá-lo e reduzirá a sobra de produto acabado.

A outra solução proposta, e que talvez seja mais adequada para outras Linhas de produção, como a 5 e a 6, é a utilização do princípio dos vasos comunicantes. Devido às características físicas dos misturadores das Linhas 5 e 6, a inserção de um hidrômetro seja muito mais complexa do que a aplicação do princípio dos vasos comunicantes. Para tal, seria necessária uma mangueira transparente fixada na posição vertical, um engate rápido para fazer a ligação entre a mangueira e o misturador e um pequeno painel de madeira para realizar as marcações do volume de água. Para tal implementação a empresa investiria em média R\$ 60, o que é uma solução relativamente barata, em relação ao hidrômetro.

Também foi verificada certa dificuldade na etapa de envase por parte dos operadores, no que diz respeito aos utensílios disponíveis para realizar esta tarefa, geralmente quando o produto possui um aspecto de gel ou pastoso. Para esta situação, os operadores precisam improvisar maneiras de se realizar o envase, o

que acaba contribuindo para que haja sobra de produto nos recipientes em que este foi acondicionado.

Em vista disso, a sugestão é investir em um maquinário que possua o princípio da alavanca mecânica, pois assim facilitaria o envase de produtos que possuem aspecto em gel ou pastoso. Foi realizada uma pesquisa de preços de equipamentos que poderiam auxiliar neste processo, sendo que o custo inicial seria em média de R\$ 5.450. A longo prazo o investimento contribuiria para a atividade de envase dos operadores e reduziria as sobras de produto, no caso de um produto em gel.

No caso das balanças desgastadas, a sugestão seria realizar a troca delas, de acordo com a necessidade de cada estação de trabalho e da atividade que está sendo desenvolvida. As balanças são ferramentas de extrema importância para o processo produtivo da empresa, com isso, é importante que se faça um estudo financeiro para que ocorra a substituição das balanças, evitando que ocorram desperdícios devido à falta de precisão delas.

A balança tipo 1, que consta no 5W2H, diz respeito à uma balança de bancada com capacidade de 15 Kg e 2g de escala de medição, que seria empregada na etapa do envase, em que é necessário aferir a embalagem preenchida com o produto químico que foi produzido. O custo médio deste tipo de balança é de R\$ 580. Já o tipo 2, diz respeito a uma balança com capacidade de 6 Kg e 1g de escala de medição, cujo custo médio é de R\$ 945, que seria empregada na etapa da mistura para aferir os insumos. A balança móvel digital é o tipo 3, que apresenta um custo médio de R\$ 2.675 e capacidade para 300 Kg, sendo empregada também na etapa do envase, mas seria mais voltada à produção de grandes quantidades de produto, que necessita ser envasado em um recipiente de grandes dimensões.

Quadro 5 – Preenchimento da ferramenta 5W2H

Hipótese	O que fazer?	Por que?	Onde?	Como?	Quem?	Quando?	Quanto?
Ineficiência na medição da quantidade de água colocada nos misturadores.	Instalar hidrômetro na entrada de água dos reatores.	O hidrômetro é capaz de medir com maior precisão a quantidade de água inserida.	Primeiramente no misturador da Linha 1.	Realizar um estudo de viabilidade financeira sobre a instalação do hidrômetro e adquirir um desses equipamentos.	Responsável pela produção e responsável pelo financeiro.	A partir de Maio de 2019.	Em média R\$ 2.013
	Utilizar o princípio dos vasos comunicantes para medição da água.	É uma opção relativamente barata e que pode contribuir para diminuir as sobras.	Nos misturadores das Linhas 5 e 6, devido às suas características físicas.	Utilizar uma mangueira, onde será feita uma escala que meça o volume de água, acoplada à saída do misturador, que é a parte destinada ao envase.	Responsável pela produção e operadores da produção.	A partir de Maio de 2019.	Em média R\$ 60
Falta de estrutura no processo de envase.	Verificar equipamentos mais adequados para o envase.	Elimina a necessidade de improvisos, por parte dos operadores, no envase dos produtos.	Na etapa de envase.	No caso do envase de produtos em gel, pode-se utilizar um equipamento que utilize o princípio da alavanca mecânica, presente no cotidiano das pessoas em um amassador em batatas, por exemplo.	Responsável pela produção e responsável pelo financeiro.	A partir de Maio de 2019.	Em média R\$ 5.450
Utilização de balanças desgastadas.	Trocar as balanças que apresentam desgastes	Elimina erros de imprecisão, auxiliando na redução da sobra	Nas etapas que utilizem de balança	Adquirir novas balanças	Responsável pela produção e responsável pelo financeiro.	A partir de Maio de 2019.	1. Em média R\$580 2. Em média R\$945 3. Em média R\$2.675

Fonte: Autoria própria (2019)

4.4 CONSIDERAÇÕES EM RELAÇÃO AOS RESULTADOS

Com relação à aplicação das ações, que correspondem às fases melhorar e controlar da metodologia DMAIC, o plano de ação é apresentado na ferramenta 5W2H. Tais propostas serão implementadas caso a empresa julgue que estas são pertinentes e adequadas ao processo produtivo atual, em termos de aplicabilidade, custo e retorno que pode trazer aos resultados empresariais, cabendo a ela sua aplicação e controle.

Para realizar o controle das ações implementadas, verificando se a medida adotada foi efetiva ou não, pode-se adotar a folha de verificação criada para coleta de dados e realizar a coleta durante um determinado período de tempo após a adoção da medida. Na sequência, os dados devem ser analisados, de maneira que seja possível verificar se houve ou não uma melhoria no aspecto de sobras dos produtos, ou seja, quanto menos produtos sobrarem, melhor, portanto, houve uma melhoria caso tenha sobrado menos produtos que antes.

Esta análise pode ser feita pela comparação entre a quantidade média de sobras dos produtos (em quilograma), antes da aplicação da medida e depois da implementação da sugestão. Se for de desejo da empresa realizar uma análise mais robusta, pode-se utilizar a ANOVA para comparação entre as médias, bem como calcular o nível sigma do processo e compará-lo com aquele que foi obtido anteriormente.

Por fim, realizando uma análise para determinar a capacidade produtiva que a empresa utiliza hoje para suas atividades, observa-se que apenas 13% de sua capacidade atual instalada é utilizada. Esta análise foi feita a partir da soma da capacidade total em quilograma de cada misturador, levando em consideração um dia de produção. Desta maneira, a empresa pode produzir 6.102 Kg de produto diariamente, de acordo com a capacidade instalada. A partir dos dados coletados pela folha de verificação, calculou-se a média de produção para o dia, resultando em um valor de 766,42 Kg. Este valor foi dividido pela capacidade diária, o que resultou em um valor de aproximadamente 13%.

Desta maneira, pode-se inferir que se hoje a empresa opera com 13% da capacidade e ocorre o problema de sobras, que resulta em um valor anual estimado

de R\$ 5.434,50, e ela tem o plano de expandir suas atividades para atender a todo o território nacional, sua demanda por produtos tende a aumentar, logo, se o problema não for tratado, este valor anual estimado para as sobras também tende a aumentar.

5 CONCLUSÃO

5.1 CONTRIBUIÇÕES

Diante das análises realizadas, pode-se inferir que o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho foram atingidos, bem como foi possível a aplicação de ferramentas da qualidade em um contexto industrial considerando dados reais.

O objetivo geral do trabalho relaciona-se a propor melhorias no processo produtivo de uma indústria do setor de fabricação de produtos químicos, utilizando-se da metodologia *Lean Six Sigma*, o que foi atingido por meio da utilização da metodologia DMAIC e da utilização de princípios do *Lean Manufacturing*, como a identificação e eliminação de desperdícios, sendo, neste caso, a superprodução.

O trabalho seguiu a metodologia DMAIC, sendo que dela foram desenvolvidas as etapas definir, medir e analisar, cabendo a implementação e o controle das ações adotadas à empresa estudada. Desta maneira, houve a aplicação parcial da metodologia DMAIC. Como pode ser observado no Quadro 6, foram utilizadas ferramentas em cada fase da metodologia DMAIC, que conduziu o presente trabalho.

Quadro 6 – Quadro resumo do trabalho

Fase	Ferramentas utilizadas
Definir	Fluxograma de processo Ferramenta SIPOC Matriz GUT <i>Project Charter</i>
Medir	Curva ABC dos produtos Folha de verificação
Analisar	Gráfico de Pareto Histograma Nível Sigma Diagrama de Ishikawa Ferramenta 5W2H
Melhorar	Fora de escopo
Controlar	Fora de escopo

Fonte: Autoria própria

O mapeamento do processo produtivo da indústria foi a primeira atividade desenvolvida, onde foram identificadas as etapas de produção, os procedimentos

que ocorrem em cada uma delas e quais são os recursos requeridos por cada etapa. Para esta situação utilizou-se de um fluxograma do processo e da ferramenta SIPOC, utilizada no *Six Sigma*.

Após a observação do processo, foram identificadas as oportunidades de melhoria presentes nele, bem como as características existentes que podem influenciar na sua qualidade. Para que fosse dado sequência ao trabalho, utilizou-se a matriz GUT como ferramenta para priorizar uma oportunidade de melhoria, que, por sua vez, funcionou como foco principal para o trabalho.

Na fase medir, presente na metodologia DMAIC, ocorreu a coleta de dados referentes ao processo produtivo, o que foi realizado com o auxílio de uma folha de verificação, sendo que tal coleta teve a duração de dois meses. Também foram disponibilizados dados referentes à curva ABC dos produtos fabricados pela empresa, bem como o custo médio destes produtos, o que foi fornecido por meio do *software* de gestão da indústria.

Já na análise dos dados coletados, foi possível verificar o comportamento dos dados coletados, a utilização das linhas de produção, quais das linhas apresentam maior quantidade de sobras, qual o custo médio das sobras para a empresa, uma estimativa do custo anual das sobras e qual o nível sigma atual do processo. Tais análises foram feitas com base nas ferramentas do gráfico de Pareto, histograma, DPO, DPMO e escala sigma.

As propostas de melhorias para o processo analisado foram auxiliadas pela ferramenta do diagrama de Ishikawa e 5W2H, que tornam toda a análise mais visual e condensada no mesmo lugar, facilitando o entendimento das ações propostas.

O desenvolvimento do projeto trouxe contribuições para o meio acadêmico, para os acadêmicos envolvidos no projeto e para a empresa. Em relação ao meio acadêmico pode-se concluir que a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* é possível em uma indústria do setor químico, pois, apesar das limitações do trabalho, os resultados alcançados foram obtidos através de ferramentas e princípios de cada metodologia, além de verificar que a fusão entre o *Lean* e o *Six Sigma* possibilita uma visão mais crítica sobre o ambiente estudado.

Aos acadêmicos envolvidos, foi de grande valia a realização deste projeto, uma vez que os conhecimentos teóricos aprendidos puderam ser aplicados e funcionaram como um instrumento norteador para desenvolver cada etapa do trabalho. Conhecer o processo produtivo, analisá-lo e propor melhorias para ele, foi

extremamente importante para o crescimento profissional, pois se trata de uma das vertentes do curso de Engenharia de Produção.

Para a empresa, toda a análise feita em seu processo produtivo foi um ganho, pois através dela foi possível levantar pontos de melhoria e documentá-los, funcionando como um guia para intervenções futuras, baseado em um estudo específico para a realidade apresentada. Desta maneira, as sugestões de melhoria vêm para aumentar a qualidade do seu processo, sendo um aspecto que deve ser considerado, uma vez que isso pode trazer ganhos financeiros para ela e aumento na eficiência de suas operações.

5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As principais dificuldades em relação a execução do trabalho, dizem respeito a conhecer adequadamente o processo, definir uma métrica confiável que represente a realidade, bem como aplicar determinadas ferramentas da qualidade ao cenário encontrado.

O primeiro passo, e o principal deles, diz respeito a conhecer adequadamente o funcionamento do processo, pois se trata de uma realidade que nenhum dos executores do trabalho está familiarizado no seu cotidiano. Para tal situação, foram realizadas diversas visitas à empresa objeto de estudo do trabalho, sendo que a orientação e o auxílio dos funcionários da produção foram de fundamental importância para compreensão das etapas do processo e identificação das oportunidades de melhoria. Importante mencionar que, caso houvesse uma interpretação errada da realidade encontrada, pode ser que todo o trabalho feito na sequência fosse invalidado, e, por este motivo, houve uma etapa para validação da fase definir.

Posteriormente à identificação e decisão sobre a oportunidade de melhoria que seria estudada, foi necessário estabelecer uma métrica que pudesse quantificar o problema encontrado, para avaliar seu impacto nas operações da empresa. Inicialmente não existia nenhum tipo de controle sobre as sobras, que era o que se desejava analisar. Portanto, foi necessário estabelecer uma maneira de mensurar esta grandeza sem que isso fosse muito dispendioso para os operadores da produção e que esta forma de mensuração não tivesse grande interferência no

processo de trabalho das pessoas. Para tal situação, foi estabelecida uma folha de verificação, de maneira que contemplasse aquilo que se desejava analisar e que fosse de fácil compreensão e preenchimento.

Por fim, na etapa de análise dos dados, se desejava aplicar algumas ferramentas da qualidade que não foram possíveis, como por exemplo o gráfico de controle, devido às características dos dados coletados. Entretanto, na tentativa de suprir a falta desta ferramenta, algumas outras ferramentas foram utilizadas para se realizar a análise, e se mostraram bastante pertinentes à realidade encontrada, como por exemplo o gráfico de Pareto.

5.3 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma das sugestões para trabalhos futuros, diz respeito a realizar uma coleta de dados referente a quantidade de água inserida nos misturadores, ou seja, a cada produção deve-se comparar a quantidade de água que deveria ser inserida e a quantidade efetivamente adicionada nos misturadores. Com este dado será possível analisar e verificar se o sistema de medição da empresa está comprometido.

Outra sugestão, seria a manipulação dos dados através de modelagem matemática utilizando pesquisa operacional, onde seria possível realizar diversas análises em relação a receita, custos, desperdícios, variáveis que mais interferem no processo, entre outros.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química). **O desempenho da indústria química em 2017**. Disponível em: <https://abiquim.org.br/uploads/guias_estudos/desempenho_industria_quimica_2017.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2018
- ABRANTES, José. **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.
- ALSYOUF, I. et al. Improving reliability of repairable systems using preventive maintenance and time-between-failures monitoring. **EUROPEAN JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING**, v. 10, n. 5, p. 596–617, 2016.
- ANDERSON, Nicole C; KOVACH, ET Jamison V. Reducing Welding Defects in Turnaround Projects: A Lean Six Sigma Case Study. **Quality Engineering**, 26:2, 168-181, 2014.
- AQUILANI, B. et al. A systematic literature review on total quality management critical success factors and the identification of new avenues of research. **TQM Journal**, v. 29, n. 1, p. 184–213, 2017.
- BENDELL, T. A review and comparison of six sigma and the lean organisations. **TQM Magazine**, v. 18, n. 3, p. 255–262, 2006.
- BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: Literature review and research issues. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 34, n. 7, p. 876–940, 2014.
- BRUE, Greg, **Six Sigma for Managers- 24 Lessons to Understand and Apply Six Sigma Principles in Any Organization**, McGraw-Hill, 2005
- CAMPOS, Vicente Falconi, **Controle da Qualidade Total no estilo japonês**, 8ª edição. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviço Ltda., 2004.
- CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**, 2. ed. São Paulo, SP: Atlas, c 2012. X, p.239.
- CARVALHO, Marly Monteiro; PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier; Campus, 2012. xvii, 430 p.
- CARVALHO, MM de; RABECHINI JR, Roque. **Fundamentos em gestão de projetos: construindo competências para gerenciar projetos**. São Paulo: Atlas, 2011.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto et al. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações** . 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 260 p.

CHEN, J. C.; LI, Y.; SHADY, B. D. From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 4, p. 1069–1086, 2010.

CHIROLI, Daiane Maria de Genaro. **Avaliação de sistemas de qualidade** . 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2016. 303 p.

COSTA, Antonio Fernando Branco; EPPRECHT, Eugenio Kahn; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2 ed. São Paulo : Atlas, 2013.

DOMINGUES, João Pedro Diogo. **Aplicação de ferramentas Lean e Seis Sigma numa indústria de sistemas de fixação**. 2013. 183 p. Dissertação (Mestre em Engenharia e Gestão Industrial) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/11177/1/Domingues_2013.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2018.

DOUGLAS, J. A.; ANTONY, J.; DOUGLAS, A. Waste identification and elimination in HEIs: the role of Lean thinking. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 32, n. 9, p. 970–981, 2015.

DROHOMERETSKI Everton, Sergio E. Gouvea da Costa, Edson Pinheiro de Lima & Paula Andrea da Rosa Garbuio (2014) Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy, **International Journal of Production Research**, v. 52,n. 3, p. 804-824.

FERNANDES, Simone Tavares; MARINS, Fernando Augusto Silva. Aplicação do Lean Six Sigma na Logística de Transporte. **Produção Online**, Santa Catarina, v12,n.2,p.297-327,abr.jun.2012.

FRANZ, L. A. S. **Análise Crítica De Um Projeto Seis Sigma Em Uma Indústria Petroquímica**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Escola De Engenharia Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção 2003.

FULLMANN, Claudiney. **O trabalho** : Mais resultado com menos esforço. São Paulo: Educator, 2009. 543 p.

GEORGE, M. L. **Lean Six Sigma for Service**: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions. New York: The Mcgraw-hill Companies, 2003.

GIJO, E. V.; SCARIA, Johny; ANTONY, Jiju. **Application of Six Sigma methodology to reduce defects of a grinding process**. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 27, n. 8, p. 1221-1234, 2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, p. 61, 1991.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, p. 41, 2002.

GUPTA, S.; JAIN, S. K. A literature review of lean manufacturing. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 8, n. 4, p. 241–249, 2013.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: um guia prático**. 2010.

LAGO, Jonatas Henrique Pinheiro. *Aulas de hidrostática e Hidrodinâmica*. 2010. Universidade Federal Rio de Janeiro.

LAGUNA, M., MARKLUND, J. (2013). *Business process modeling, simulation and design*. Boca Raton: CRC Press - **Taylor & Francis Group**.

MARQUES, Caio Augusto Nunes. **Monitoramento de Processo Seis Sigma por gráfico de controle de Shewhart**. 2013. 80. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, UFV, Minas Gerais.

MARSHALL JUNIOR, Isnard et al., **Gestão da Qualidade**, 8. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

MARSHALL JUNIOR, Isnard et al. **Gestão da Qualidade** . 9. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2008. 204 p.

MARSHALL JUNIOR, Isnard et al.; **Gestão da qualidade e processos**, 1 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2012.

MARTINELLI, Fernando B., **Gestão da Qualidade Total**, Fundação Biblioteca Nacional, 2009.

MONTGOMERY, D. C. (2009). **Introduction to Statical Quality Control**, Sixth Edition. United States of America : Wiley.

MONTGOMERY, D. C **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**, 4.ed. Rio de Janeiro : LTC, 2013

MONTGOMERY, D.C; WOODALL, William H. **An Overview of Six Sigma**. Revue Internationale de Statistique, Vol. 76, No. 3, 2008.

MOREIRA, Rafael; ARBACHE, Jorge. **Os serviços e a indústria química** . Disponível em: <<https://economiadeservicos.com/2016/12/19/os-servicos-na-industria-quimica/#comments>>. Acesso em: 02 mai. 2018.

MOURA, Vinicius de Souza et al.; Waste Reduction Applying Lean Thinking and Sigma Tools in Steel Industry. **Proceedings of the 2017 International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)** Bristol, UK, July 24-25, 2017

OAKLAND, John S. **Gerenciamento da qualidade total : TQM: o caminho para aperfeiçoar o desempenho**. São Paulo, SP: Nobel, 1994. 459 p.

OHNO, Taiichi. **O sistema toyota de produção** : Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 p.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção. Operações industriais e de serviços**. Unicenp, 2007.

PEPPER, M. P. J.; SPEDDING, T. A. The evolution of lean Six Sigma. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 27, n. 2, p. 138–155, 2010.

PILLING, Sergio. **Flúidos- Introdução a hidrostática e hidrodinâmica**. Disponível em: https://www1.univap.br/spilling/BIOF/BIOF_06_Fluidos.pdf. Acesso em 27 abr. 2019

PRADO FILHO, Hayrton R. Dicas de qualidade, diagrama de Pareto, Ishikawa e 5W1h. **Qualidadeonline's** blog, 2009. Disponível em : < <https://qualidadeonline.wordpress.com/2009/11/04/dicas-de-qualidade-diagrama-de-pareto-ishikawa-e-5w1h/>> . Acesso em 02 abr. 2018.

PYZDEK, T.; KELLER, P.(2010). **The Six Sigma handbook**. -. A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. Mc Graw Hill.

PYZDEK, Thomas. (2003). **The Six Sigma Handbook** - A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. Mc Graw Hill.

RAISINGHANI, M.S., Ette, H., Pierce, R., Cannon, G., & Daripaly, P., **Six Sigma concepts, tools and applications**, Industrial Management p Data Systems, 491-505, 2005.

RAVAL, S. J.; KANT, R.; SHANKAR, R. Revealing research trends and themes in

Lean Six Sigma: from 2000 to 2016. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2018.

SAKUMOTO, Seiti Moraes. **Melhoria no Recebimento de Grãos em um Cooperativa Agroindustrial utilizando o Lean Seis Sigma**. 2016. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual de Maringá.

SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J. A. The integration of Six Sigma and lean management. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 3, p. 249–274, 2010.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. Controle da qualidade: as ferramentas essenciais. 2ª ed. Curitiba: Editora IBPEX, 2010.

SCHONBERGER, Richard; CHIQUETTO, Osvaldo (Trad.) **Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre a simplicidade**. 4. ed. rev. São Paulo: Pioneira, c1993. 200 p.

SHEWHART, W.A., **Quality control charts?**, Bell Syst. Tech. J. 5 (4),1926.

SHINGO, Shigeo. **Sistemas de produção com estoque zero : o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Porto Alegre: Bookman, 1996. 380 p.

SIMCI, Rafael Rodrigues; PEREIRA, Marco Antonio Carvalho. Estudo da Utilização de Fluxo de Valor em Processos Químicos Industriais.XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015. **ENESEP**. Fortaleza.

SNEE, R. D. Lean Six Sigma – getting better all the time. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 1, p. 9–29, 2010.

STAATSA, B. R., D. J. Brunnerb, and D. M. Upton. 2011. “Lean Principles, Learning, and Knowledge Work: Evidence from a Software Services Provider.” **Journal of Operations Management** 29: 376–390.

VINODH, S.; KUMAR, S. V; VIMAL, K. E. K. Implementing lean sigma in an Indian rotary switches manufacturing organisation. **Production Planning and Control**, v. 25, n. 4, p. 288–302, 2014.

WALTER, O. M. F. C, PALADINI, E. P.; Lean Six Sigma in Brasil: a literature review. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 10, p 435-472, 2018.

WECKENMANN, A.; AKKASOGLU, G.; WERNER, T. Quality management - History and trends. **TQM Journal**, v. 27, n. 3, p. 281–293, 2015.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. 1 ed. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a cultura Seis Sigma**. 2 ed. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2012.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2012. 259 p.

WHEELER, D.J., **The Six Sigma Practitioner's Guide to Data Analysis: SPC Press**, 2010.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 347 p.

YONG, J.; WILKINSON, A. The long and winding road: The evolution of quality management. **TOTAL QUALITY MANAGEMENT**, v. 13, n. 1, p. 101–121, jan. 2002.

ZAIRI, M. The TQM legacy - Gurus' contributions and theoretical impact. **TQM Journal**, v. 25, n. 6, p. 659–676, 2013.

APÊNDICE A - Folha de Verificação

